DIRECTION GÉNÉRALE DES TERRES

LANDS DIRECTORATE

UN EXAMEN DES CAUSES ALTERNATIVES DU DÉCLIN DU SAUMON DE L'ATLANTIQUE ET DE L'ACIDIFICATION DES EAUX DE SURFACE DANS LE SUD OUEST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE

DOCUMENT DE TRAVAIL nº 46

RECHERCHE SUR LES PRÉCIPITATIONS ACIDES

Environnement Canada Environment Canada

Canada

-- -----,

88-00217/

EXAMEN DES CAUSES POSSIBLES DE LA DIMINUTION DES POPULATIONS DE SAUMONS DE L'ATLANTIQUE ET DE L'ACIDIFICATION DES EAUX DE SURFACE DANS LE SUD-OUEST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE

Ingrid Kessel-Taylor

1986

Direction générale des terres
Conservation et Protection
Environnement Canada

Document de travail n° 46

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada
n° de cat. EN73-4/46F
ISBN 0-662-94305-8

AVANT-PROPOS

Le présent rapport a été préparé par la Direction générale des terres, dans le cadre du programme TGDPA (transport à grande distance des polluants atmosphériques). On y examine l'influence de facteurs locaux, comme la gestion des pêches et l'aménagement des terres, sur la diminution des populations de saumons de l'Atlantique dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, ainsi que les effets de l'aménagement du territoire et des terres humides sur l'acidification des eaux de surface. L'étude met aussi en lumière la nécessité d'adopter une approche multidisciplinaire, intégrée et faisant appel à la coopération, pour examiner l'incidence des précipitations acides sur les écosystèmes. Les bases de données régionales sur les terres, l'eau et le biote ont été consultées en parallèle dans le but de mieux cerner le lien entre les précipitations acides et l'effondrement des pêcheries. L'importance de ce lien constitue un élément de premier plan dans la position commune du gouvernement canadien et des provinces en vue des négociations internationales sur la réduction des émissions atmosphériques de polluants acidifiants.

REMERCIEMENTS

Le présent rapport a été préparé avec l'aide de M. J. Kerekes, du Service canadien de la faune à Halifax. La Division des systèmes de données sur les terres du Canada, de la Direction générale des terres (à Hull), a effectué l'analyse statistique, tandis que la Direction de la qualité des eaux, de la Direction générale des eaux intérieures (également à Hull), a fourni les données sur la qualité des eaux.

L'auteur remercie de leur critique constructive MM. E. Wiken, du Service de la conservation et de la protection, C. Rubec, de la Direction générale des terres, W. White, du ministère des Pêches et Océans, J. Kerekes, du Service canadien de la faune, F. Elder et T. Clair, de la Direction générale des eaux intérieures, ainsi que M. T. Brydges, du Bureau fédéral de liaison du programme TGDPA.

RÉSUMÉ

La diminution des populations du saumon de l'Atlantique (Salmo salar) du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et leur extinction ont été attribuées à l'acidification des eaux de surface sous l'effet des précipitations acides. À y regarder de plus près, on peut discerner des facteurs qui ont joué localement sur les effectifs du saumon et sur l'acidité des eaux de surface : 1) les méthodes de pêche traditionnelles; 2) les modifications dans l'aménagement du territoire; 3) la présence de terres humides, qui contribuent naturellement à l'acidification des eaux de surface. Pour évaluer le rôle de ces facteurs locaux dans l'effondrement de la pêche et l'acidification des eaux de surface, on a étudié la diminution de la population des saumons du bassin de la rivière Clyde, dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, en se fondant sur des relevés chronologiques et des photographies aériennes. L'effet des facteurs précités aurait été cumulatif, et, avec les dépôts acides, ils auraient concouru à la disparition du saumon de la rivière Clyde et d'autres cours d'eau de la région. Les dépôts acides auraient été la goutte qui a fait déborder le vase, faisant tomber le pH à des valeurs trop basses pour permettre la prolifération du saumon.

ABSTRACT

The decline and eventual extinction of Atlantic salmon (Salmo salar) in southwest Nova Scotia has been attributed to surface water acidification as a result of acid precipitation. Upon closer examination of this region, it is possible to identify local factors which may have had a significant impact on the local salmon population and surface water acidity: (1) historic salmon harvesting practices; (2) changes in land management practices; and (3) the occurrence of wetlands which contribute to naturally acidic surface waters. To evaluate the role of these local factors in affecting fishery decline and surface water acidification, a case study of the decline in Atlantic salmon was undertaken for the Clyde River watershed in southwest Nova Scotia using qualitative historical records and aerial photographs. This study suggests that the cumulative effect of the above mentioned factors, together with acid deposition, brought about the disappearance of salmon from the Clyde and other rivers of southwest Nova Scotia. Acid deposition superimposed onto these factors likely provided the "final straw", depressing pH to levels which prevented the salmon from recovering.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
REMERCIEMENTS	ii
AVANT-PROPOS	iii
RÉSUMÉ / ABSTRACT	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 EFFETS DE LA GESTION DES PÊCHES	3
2.1 Causes locales de la diminution des populations de saumons	4
2.2 Causes internationales de la diminution des populations de saumons	6
2.3 Résumé	8
3.0 EFFETS DE LA GESTION DES TERRES	8
3.1 Influence de la gestion des terres sur l'acidité du sol	9
3.2 Foresterie	10
3.3 Incendies	11
3.4 Changements d'utilisation des terres	11
3.5 Résumé	13
4.0 RÔLE DES TERRES HUMIDES DANS LE PROCESSUS D'ACIDIFICATION	13
4.1 Influence des terres humides	13
4.2 Analyse	16
4.2.1 Eaux de surface colorées	19
4.2.2 Eaux de surface claires	22
4.3 Analyse statistique	23
4.4 Résumé	23
5.0 CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DE CAS	24
6.0 AUTRES RECHERCHES RECOMMANDÉES	25
7.0 RÉFÉRENCES	27

TABLE DES MATIÈRES
(suite)

	Page
ANNEXES	33
ANNEXE I Caractéristiques du bassin versant de la rivière Clyde	33
ANNEXE II Résumé statistique de l'analyse de régression simple	37
ANNEXE III Principales classes de terres humides au Canada	41

LISTE DES TABLEAUX

		Page
1	Changements dans la couverture des terres du bassin versant de la rivière Clyde, de 1954 à 1970	12
2	Superficie incendiée dans le bassin versant de la rivière Clyde, de 1954 à 1984	12
3	Superficie totale des terres humides et des tourbières dans chaque bassin versant	18
4	Valeurs annuelles moyennes des teneurs en ions et des paramètres mesurés dans sept rivières aux eaux colorées de la Nouvelle-Écosse	20
5	Valeurs annuelles moyennes des teneurs en ions et des paramètres mesurés dans trois rivières aux eaux claires de la Nouvelle-Écosse	20
6	Comparaison des concentrations moyennes de sulfates dans les précipitations et dans les eaux de cinq rivières étudiées	21

LISTE DES FIGURES

		Page
1	Acidité des rivières à saumons de l'Atlantique en Nouvelle-Écosse	2
2	Facteurs influant sur l'effondrement général des pêcheries	3
3	Situation géographique des bassins versants étudiés	4
4	Prises sportives de saumons de l'Atlantique dans la rivière Clyde, en Nouvelle-Écosse (de 1935 à 1970)	7
5	Importance relative de l'acidité d'origine anthropique et de l'acidité organique dans le ruisseau Atkins (Nouvelle-Écosse). Les concentrations de sulfates (valeurs corrigées par rapport au sel marin) et d'anions organiques subissent de fortes fluctuations cycliques en sens inverse.	15
6	Concentration, en équivalents, des sulfates (X), des anions organiques (O), des nitrates (N) et d'autres anions, principalement les chlorures et les bicarbonates (Z), dans le principal cours d'eau drainant le bassin du lac Plastic; les points ont été reliés pour faciliter la lecture.	15

1.0 INTRODUCTION

L'étude de Watt et al. (1983a) portant sur la diminution des populations de saumons de l'Atlantique (Salmo salar) en Nouvelle-Écosse fait partie intégrante de l'argumentation présentée en faveur de la réduction des émissions atmosphériques de sulfates au Canada et aux États-Unis. Watt a classé les rivières de la Nouvelle-Écosse en deux catégories, selon que leur pH était faible ($< 5,0$) ou élevé (≥ 5.0), et a normalisé les données chronologiques disponibles sur les prises sportives, ce qui a facilité la comparaison entre les populations de saumons des deux types de cours d'eau. Une importante corrélation a été observée entre les bonnes et les mauvaises années de pêche sportive dans les rivières des deux catégories jusque vers 1950; les années suivantes ont vu diminuer le nombre de poissons capturés dans les rivières à pH inférieur à 5,0. Cette tendance manifeste à la baisse a été attribuée à l'acidification des rivières par les retombées acides. La baisse du pH semble être le facteur déterminant de la diminution des populations de saumons dans huit rivières coulant surtout dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (États-Unis-Canada, 1983) (figure 1).

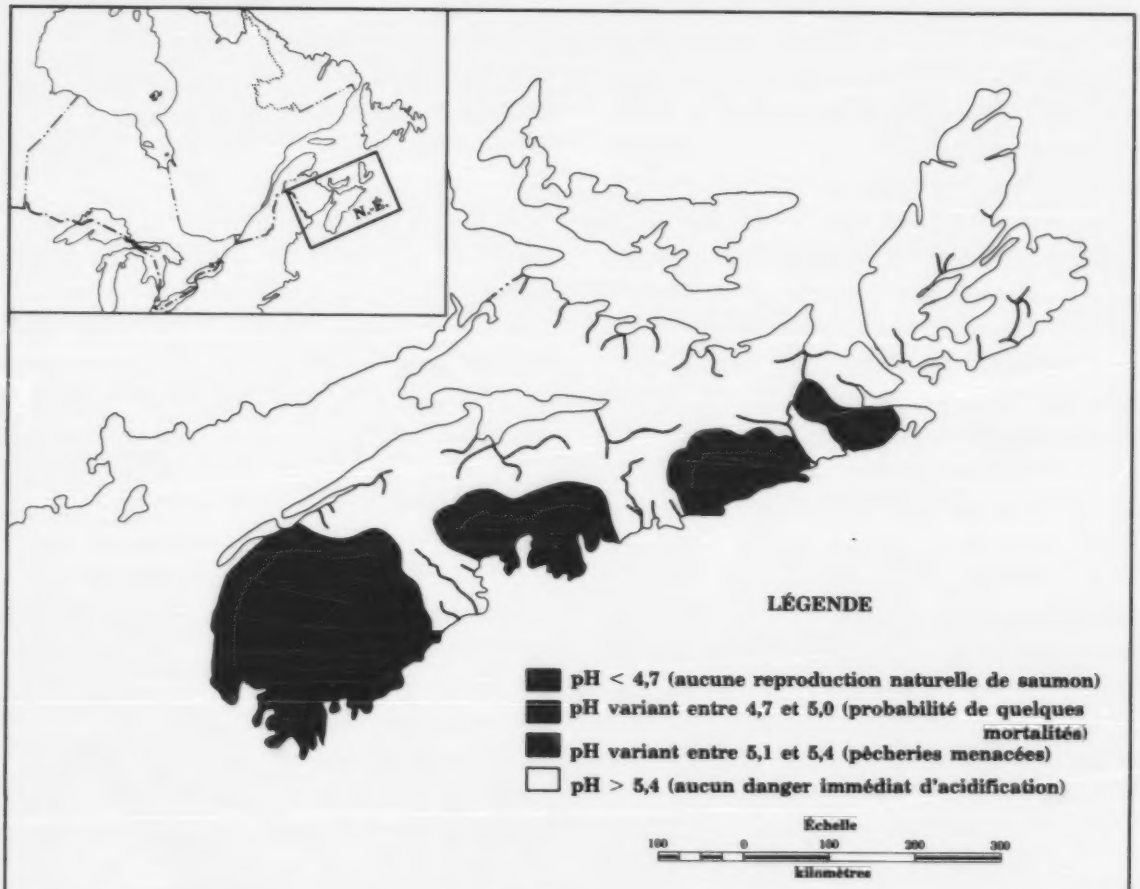
On s'est demandé si d'autres facteurs, comme les méthodes de gestion des pêches et des terres, auraient également pu avoir un effet important sur la survie du saumon de l'Atlantique dans cette région. Il est établi que que ces méthodes ont été la cause de la diminution des populations de saumons à d'autres endroits (Narver, 1971). La diminution des populations de poissons peut aussi être attribuée : 1) à la pollution des eaux de surface par les pesticides, 2) à certaines méthodes de gestion des pêches telles que la surpêche et l'insuffisance du repoissonnement, et 3) à la dégradation des habitats causée par l'agriculture, la foresterie et la construction de barrages (Narver, 1971; Saunders, 1981; Brown et Brocksen, 1984) (figure 2).

La gestion des terres peut jouer un rôle dans l'acidification des eaux de surface. La formation d'acides organiques due à la décomposition de la matière organique (Mason et Seip, 1985; Driscoll et Newton, 1985; Lefohn et Klock, 1985), l'oxydation des sulfures naturels (Everett et al., 1983) et les changements apportés aux modes de gestion des terres, comme le brûlage, l'abattage des arbres et le repeuplement des fôrets (Rosenqvist, 1978; Nilsson et al., 1982; Krug et Frink, 1983), sont autant de facteurs susceptibles de faire augmenter l'acidité des eaux de surface.

On a signalé que les rivières de la Nouvelle-Écosse les plus acides et dont le pH avait le plus changé étaient celles qui subissaient les effets du drainage des terres humides (Farmer et al., 1980). On ne reconnaît que depuis peu l'importance de l'apport d'acides organiques et de sulfates provenant des terres humides et des sols - et, partant, la nécessité d'en tenir compte dans toute étude de l'incidence des dépôts acides. Les eaux de surface qui reçoivent ces apports sont chimiquement différentes des eaux claires les plus souvent étudiées en rapport avec les dépôts acides, et ne réagissent donc pas de façon identique. Le Mémorandum déclaratif d'intention (États-Unis-Canada, 1983) fait état de la nécessité de préciser davantage dans quelle mesure les terres humides contribuent à l'acidité des eaux de surface.

Le présent rapport a pour but d'évaluer l'importance des effets qu'auraient pu avoir la

Figure 1
ACIDITÉ[1] DES RIVIÈRES À SAUMONS DE L'ATLANTIQUE EN NOUVELLE-ÉCOSSE



Les rivières à saumon de l'Atlantique des provinces maritimes ont été classées en quatre catégories de pH (moyenne annuelle estimatives), selon les effets sur la reproduction du saumon. Les données actuelles indiquent que le saumon ne peut pas se reproduire lorsque le pH est inférieur à 4,7. Pour les jeunes poissons, un taux de mortalité de 30% ou plus est probable lorsque le pH varie entr 4,0 et 4,7. Les rivières sont jugées menacées lorsque le pH varie entre 5,1 et 5,4. Quand le pH est supérieur à 5,4, l'acidification ne présente aucun danger immédiat pour le saumon de l'Atlantique.

(Source: Watt et al., 1983a)

(1) Le pH est une mesure logarithmique de l'acidité de l'eau. Lacidité augmente progressivement lorsque le pH baisse en bas de 7,0.

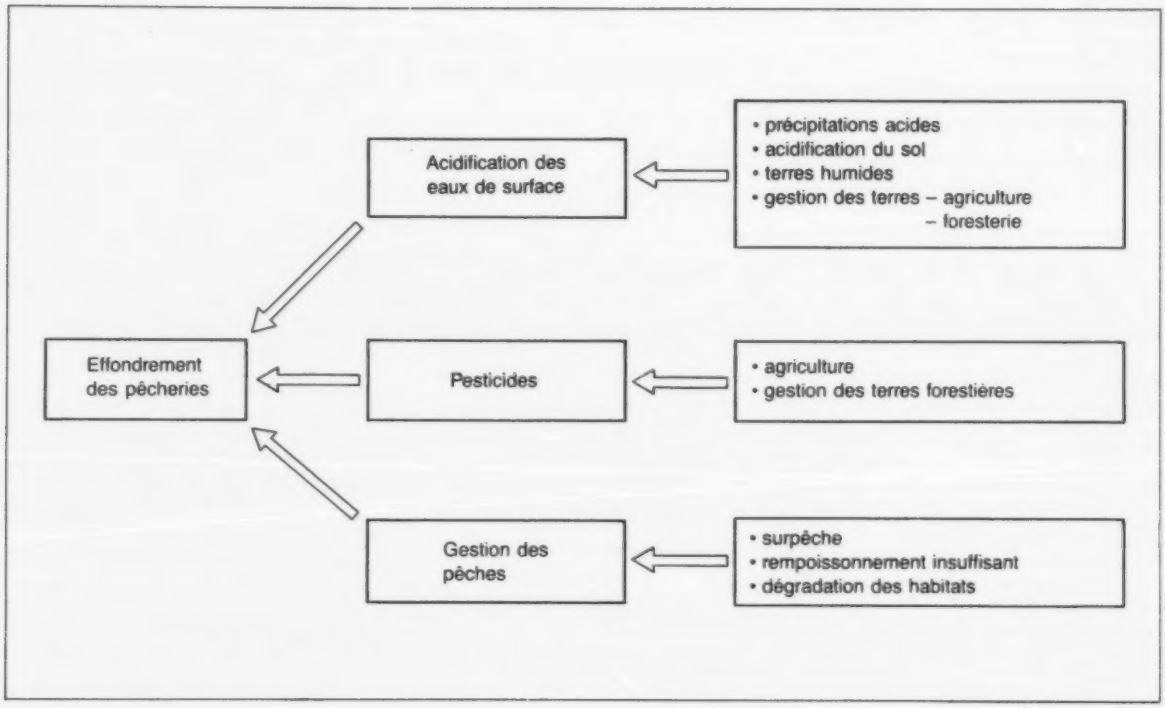


Figure 2 : Facteurs influant sur l'effondrement général des pêcheries
(adaptation du document de Brown *et al.*, 1984)

gestion des pêches et celle des terres sur la diminution des populations de saumons de l'Atlantique dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. D'autres facteurs possibles d'acidification, comme la présence de terres humides et le repeuplement des forêts, seront aussi examinés. Cette analyse contribuera à mieux préciser la corrélation constatée par Watt et al. (1983a) entre les dépôts acides, l'acidification des eaux de surface et la diminution des populations de saumons dans la région à l'étude.

Afin de mesurer l'importance de ces facteurs pour la survie du saumon de l'Atlantique et leur effet sur l'acidification des eaux de surface, nous avons entrepris une étude de cas à caractère chronologique portant sur les méthodes de pêche au saumon dans la rivière Clyde et la gestion des terres dans son bassin versant (figure 3). Ce bassin a été choisi parce que la Clyde a perdu sa population naturelle de saumons depuis 1950, comme Watt et al. (1983a) l'ont signalé, et qu'elle est représentative des autres cours d'eau de la région. Une description détaillée du bassin est présentée à l'annexe I. Pour déterminer le rôle des terres humides dans le processus d'acidification, il a fallu également étudier neuf autres rivières de la Nouvelle-Écosse; cela a permis d'effectuer des comparaisons de la qualité de l'eau en fonction de la présence d'une forte ou faible proportion de terres humides dans le bassin.

2.0 EFFETS DE LA GESTION DES PÊCHES

Il est reconnu que l'acidité des eaux de surface empêche la reproduction du saumon de l'Atlantique; il importe cependant, à cet égard, de tenir compte de certains facteurs concommitants tels que 1) la diminution des

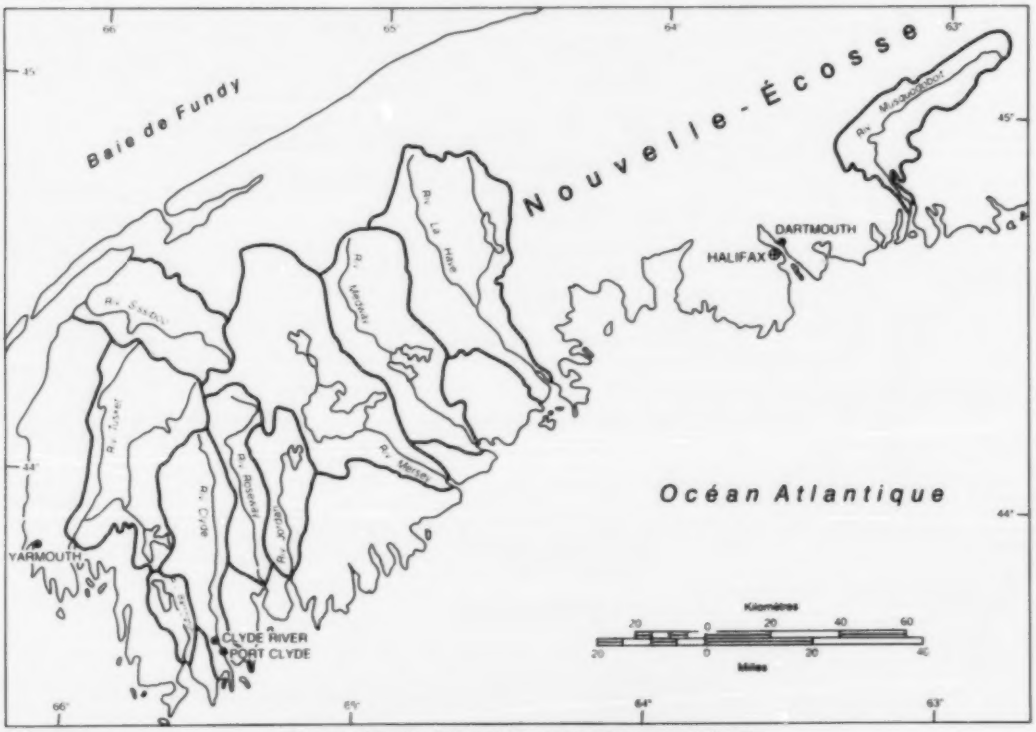


Figure 3 : Situation géographique des bassins versants étudiés

populations locales de poissons, 2) la dégradation des habitats, 3) la modification naturelle des habitats aquatiques et 4) la réduction des stocks de poissons due à la pêche internationale. En effet, ces facteurs ont peut-être influé sur la survie des populations locales de poissons avant même la dégradation des eaux de surface par les retombées acides (Brown et Brocksen, 1984; Moffat, comm. pers.). L'influence de ces facteurs sur la survie du saumon dans la rivière Clyde sera examinée en 2.1 (Causes locales de la diminution des populations de saumons) et en 2.2 (Causes internationales de la diminution des populations de saumons).

2.1 Causes locales de la diminution des populations de saumons

Lorsque les premiers colons se sont installés en Nouvelle-Écosse, les rivières abondaient en saumons (MacEachern et MacDonald, 1962). Une importante industrie de la pêche s'est rapidement développée, et le stock vierge de saumons s'est vite épuisé. Après une période de ralentissement, l'industrie a connu un nouvel essor et fourni des revenus assez importants au cours du XVIII^{e} et du XIX^{e} siècle. La pêche se faisait au moyen de filets flottants et de filets-trappes tendus le long du littoral et dans les estuaires (MacEachern et MacDonald, 1962).

Il est malheureusement impossible d'estimer la population originale de saumons dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Comparativement à d'autres régions, elle était probablement plus faible en raison de la forte acidité naturelle des eaux, due surtout aux terres humides. D'après une étude de la qualité de l'eau effectuée par Thomas (1960), le pH moyen des rivières du sud-ouest de la

Nouvell-Écosse se situait, en 1954-1955, entre 5,0 et 5,5. Lorsque le pH est inférieur à 5,0, le saumon ne peut plus se reproduire (Jensen et Senkvik, 1972; Watt et al., 1983a). Si ces résultats sont considérés comme indicateur du début de l'acidification (Watt et al., 1983a), ils correspondraient approximativement à l'état des rivières avant les retombées acides. La population de saumons aurait été naturellement limitée par le faible pH des eaux.

Les rapports des agents des pêches du ministère des Pêches et Océans (MPO) fournissent les premières données statistiques sur la gestion des pêcheries et les prises dans la rivière Clyde (Archives publiques du Canada). Ils permettent d'évaluer raisonnablement les prises de saumons - quoique les variations d'une année à l'autre aient souvent été considérables, en raison d'un certain nombre de facteurs. Les rapports signalant de bonnes prises encourageaient d'autres pêcheurs, ce qui entraînait une surveillance accrue de la part des agents des pêches et, par voie de conséquence, l'enregistrement d'un plus grand nombre de prises. A l'inverse, un faible nombre de prises décourageait les pêcheurs, ce qui avait pour résultat le relâchement de la surveillance et l'enregistrement d'un moins grand nombre de prises (Watt et al., 1983a).

Après la période de surpêche généralisée qui a suivi la colonisation de la région, les populations de saumons de la rivière Clyde n'ont pu se rétablir à cause de l'utilisation continue de mauvaises méthodes de pêche. Douglas (1905) a signalé une importante réduction des stocks de saumons dans la rivière à la suite de la pose de filets en travers de l'estuaire. Cette réduction peut aussi être attribuée à la dégradation des habitats causée par les activités liées à l'abattage du bois (section 4.1). Le cycle du frai était souvent perturbé par l'exploitation du barrage d'une scierie, construit en amont de l'agglomération de Clyde River. Le saumon pouvait remonter le barrage seulement lorsque les évacuateurs et les vannes d'arrêt étaient ouverts, ce qui ne coïncidait pas toujours avec la période de frai. En outre, des périodes saisonnières de faible débit, causées par la sécheresse, nuisaient occasionnellement au frai (Delziel, 1955).

En 1955, la scierie a été abandonnée et le barrage, en mauvais état, n'est devenu qu'un obstacle partiel à la montaison.

Le ministère des Pêches et Océans a installé une clôture au confluent du canal de la scierie et du chenal principal, ce qui forçait tout le poisson à remonter par ce dernier (Delziel, 1955). Le MPO a par la suite lancé un programme visant à éliminer tous les barrages abandonnés de la Nouvelle-Écosse, y compris ceux de la rivière Clyde (White, comm. pers.).

La perturbation répétée du cycle de frai des saumons a forcé les habitants du township de Barrington à envoyer au gouvernement de la Nouvelle-Écosse, en 1899, 1902, 1905 et 1908, des pétitions lui demandant d'enlever de la rivière Clyde et de ses tributaires des obstacles comme les chablis et les roches. Les habitants de Port Clyde ont demandé au gouvernement d'imposer un moratoire de trois ans (de 1900 à 1903) sur la pêche au filet dans l'estuaire de la Clyde en vue de rétablir les stocks de poissons, qui étaient considérablement réduits.

Selon de récentes données, même si le nombre de saumons pris à la ligne dans la rivière Clyde a grandement varié depuis 1935, il a généralement diminué après 1953 (figure 4). Les records de 1936 et de 1943 ont tous deux été suivis de prises assez faibles. Le dernier record a été enregistré en 1953, après quoi la population de saumons a décru jusqu'à complètement disparaître. Il se peut que les très faibles débits résultant des sécheresses qui ont sévi en 1955, 1957, 1960 et 1965 aient empêché le saumon de frayer et les pêcheurs de le capturer (Delziel, 1955; Direction générale des eaux intérieures, 1981).

En résumé, les données chronologiques recueillies indiquent que, depuis la colonisation de la région, la population de saumons de l'Atlantique de la Clyde a été épuisée et perturbée à maintes reprises par la surpêche et la dégradation des habitats, causée entre autres par l'abattage du bois. Les rapports des agents des pêches (Archives publiques du Canada) révèlent que d'autres rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse ont connu le même sort. En 1951, lorsqu'un système complet de collecte de données statistiques sur les prises sportives a été mis en place, les populations naturelles de saumons des rivières Jordan, Barrington et Roseway étaient déjà disparues (Smith, 1981; Farmer et al., 1980).

2.2 Causes internationales de la diminution des populations de saumons

Certains saumons de l'Atlantique passent un an en mer avant de retourner à leur rivière natale pour se reproduire (on les appelle les madeleineaux), tandis que d'autres reviennent après deux ans ou plus. En 1959, les zones de nutrition du saumon ont été découvertes au large de la côte ouest du Groenland, et la quantité de poisson pêché à cet endroit, qui était de 60 tonnes en 1960, a augmenté de façon spectaculaire pour atteindre 1 539 tonnes en 1964. De 1969 à 1971, la moyenne annuelle a été de 2 260 tonnes, ce qui représentait environ 17 % des prises mondiales. On estime que la moitié de tout le poisson capturé durant cette période venait du Canada (Netboy, 1974). Il en est résulté une brusque diminution de la quantité totale de saumons adultes pêchés au large des côtes canadiennes, qui est passée de 2 859 à 1 837 tonnes entre 1967 et 1971 (Netboy, 1974), ainsi qu'une diminution du nombre de saumons en montaison.

Au cours de la même période, la pêche commerciale du saumon au large de Terre-Neuve a également augmenté. On estime que, de 1969 à 1975, 11 % de tout le poisson capturé provenait des Maritimes, et 13,6 % du Québec. En 1972, la pêche commerciale du saumon au Canada a été interdite en raison de la diminution alarmante des stocks. Le rempoissonnement n'a pas été aussi important que prévu à cause de l'augmentation du nombre de prises accidentelles, de l'accroissement de la pêche sportive et du braconnage (Saunders, 1981).

Le cadre de la présente étude ne permettait pas d'établir un rapport quantitatif entre l'augmentation des prises de saumons au large du Groenland et de Terre-Neuve et la diminution des stocks de la Clyde et d'autres rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Toutefois, d'après un rapport traitant de la rivière Miramichi, au Nouveau-Brunswick, la population de saumons de ce cours d'eau a considérablement diminué à la suite de l'augmentation des captures au Groenland entre 1960 et 1970 (Paloheimo et Elson, 1974). La perte de reproducteurs a été considérée comme l'une des principales causes de la diminution sans

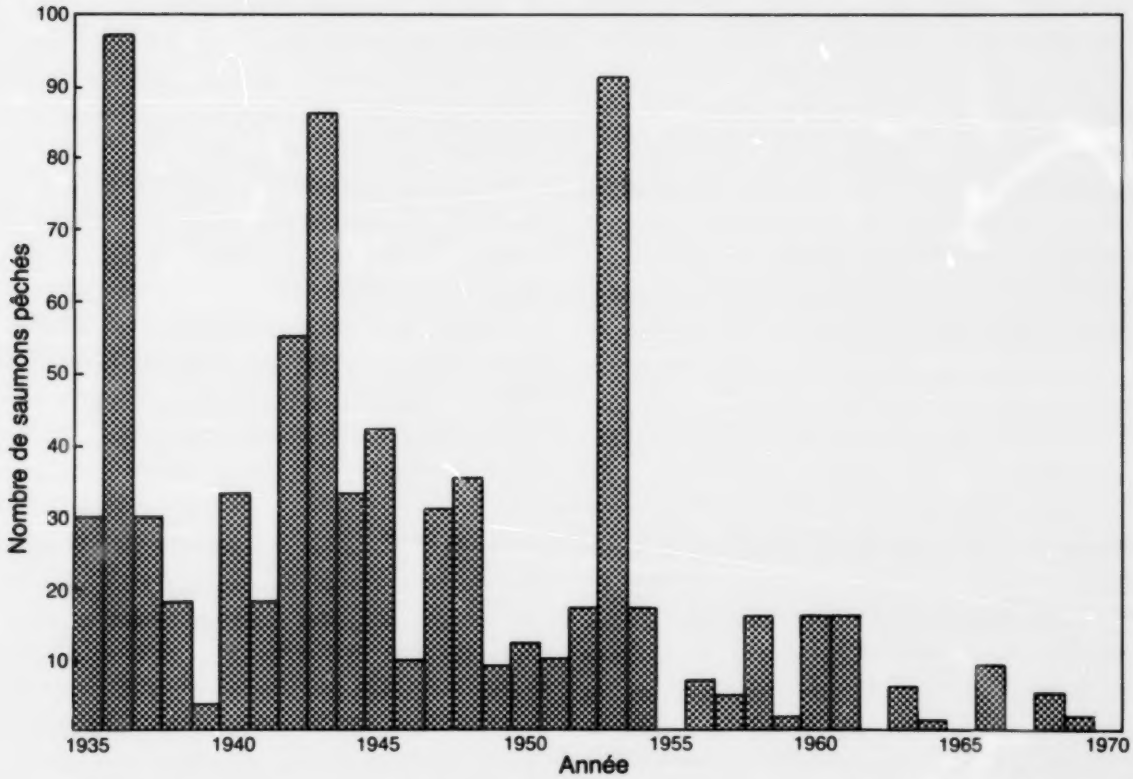


Figure 4. Prises sportives de saumons de l'Atlantique dans la rivière Clyde, en Nouvelle-Écosse (de 1935 à 1970)

(Source: Pêches et Océans, Statistiques sur les prises sportives; Smith, 1981)

précèdent que la pêche commerciale y a connue. Les données statistiques sur la pêche à la ligne dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse révèlent aussi une baisse record du nombre de prises entre 1965 et 1969 dans les rivières LaHave, Medway, Musquodoboit, Tusket et Clyde. Cette diminution pourrait être due à l'augmentation des prises commerciales (Smith, 1981; Swetnam et O'Neil, 1985).

2.3 Résumé

D'après les données chronologiques, les populations de saumons de la rivière Clyde ont diminué à maintes reprises en raison de l'insuffisance des échelles à poissons, du nombre excessif de prises engendré par la pratique de longueur d'année, de l'utilisation de filets dans l'estuaire, des sécheresses périodiques et de la dégradation des habitats causée par la présence de débris dans l'eau. Toutes ces conditions entravaient le cycle de frai. Le phénomène n'est cependant pas propre à la Clyde : la plupart des rivières à saumons de la Nouvelle-Écosse ont été exposées à ces conditions, en tout ou en partie (MacEachern et MacDonald, 1962). Dans les rivières du sud-ouest de la province, comme la Clyde, où la reproduction du saumon était faible à cause de l'acidité naturelle des eaux, les populations étaient déjà également menacées par l'intensification de la pêche au large des côtes lorsque les premiers effets des retombées acides ont été enregistrés entre 1950 et 1965 (Watt et al., 1979). À la lumière de ce qui précède, il importe d'étudier plus à fond la question de l'existence d'un lien direct entre les retombées acides et la diminution des populations de saumons survenue par la suite.

3.0 EFFETS DE LA GESTION DES TERRES

Les modifications survenant à la gestion des terres telles que la récolte du bois, ainsi que les incendies et le remplacement de la végétation, peuvent influer sur l'acidité du sol et, donc, sur l'acidification des eaux de surface. Voici un bref exposé des effets de la gestion des terres sur les sols, la qualité des eaux de surface et les habitats aquatiques, qui sera suivi d'un examen plus détaillé des trois facteurs suivants : 1) la foresterie, 2) les incendies et 3) les changements dans le mode d'utilisation des terres du bassin de la rivière Clyde. Étant donné le caractère préliminaire de la présente étude, il nous est uniquement possible d'estimer quantitativement les activités de gestion des terres du bassin et d'interpréter qualitativement leur incidence sur la population de saumons et l'acidification du bassin versant.

L'interprétation de la gestion des terres a été faite à l'aide de photographies aériennes datant de 1927, des premiers rapports sur la foresterie et des cartes provinciales d'inventaire forestier publiées en 1954 et 1970. Les cartes indiquent la présence de huit types de couverture des terres : terres humides, brûlis, terres dénudées et rocheuses, surfaces déboisées, arbustes et arbrisseaux, forêts, terres agricoles et zones habitées. Les données sur le nombre d'incendies sont tirées des cartes contenues dans les dossiers publics du Centre des incendies du ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse, à Shubenacadie.

3.1 Influence de l'aménagement des terres sur l'acidité du sol

Étant donné la complexité des interactions entre les précipitations (ou l'eau de fonte des neiges), le sol et la végétation, peu de recherches ont été effectuées en vue d'établir une corrélation entre la composition chimique des précipitations et celle de l'eau des lacs et des rivières. Les processus comme l'oxydation, la réduction, la météorisation, l'échange de cations et la production d'acides organiques faibles dans le sol influent sur l'acidité ou l'alcalinité de l'eau du sol. La composition chimique des eaux d'infiltration peut être modifiée par des phénomènes hydrologiques. L'importance du contact entre les précipitations et les sources terrestres d'acidité, telles que les horizons contenant des matières organiques et les tourbières, ont également un effet sur l'acidité de l'eau du sol (Rosenqvist, 1978; Krug et Frink, 1983; Krug et al., 1985; Richter, 1984; Lefohn et Klock, 1985; Mason et Seip, 1985).

Dans le sol des régions non polluées (c'est-à-dire celles qui ne reçoivent pas de retombées acides), les acides organiques et l'acide carbonique qui les accompagne constituent les principales sources d'hydrogène (Nilsson et al., 1982). Ces acides sont les sous-produits des échanges biologiques de carbone et d'éléments nutritifs qui résultent du processus d'absorption par les racines et de la décomposition de la litière. L'absorption par les racines est un processus acidifiant, car il donne lieu à un flux, en sens inverse, d'ions hydrogène (Reuss, 1976). La formation d'acides organiques est due à l'accumulation de matières organiques résultant de la décomposition incomplète des débris végétaux. Ces acides atteignent les eaux de surface pendant les périodes de fortes précipitations ou de fonte des neiges, lorsque l'eau nepénètre pas suffisamment dans le sol. Des essais de lessivage de sols riches en matière organique au moyen d'eau distillée et désionisée (à pH 5,7) ont permis de constater que les acides organiques contribuaient considérablement à l'acidité libre et totale du lessivat, dont le pH était abaissé à 4,1 ou moins (Lefohn et Klock, 1985).

Cinq facteurs généraux liés à la gestion des terres influent sur l'acidité du sol :

i) Le bois laissé sur place après la coupe occasionne une décomposition accrue de la biomasse, ce qui abaisse le pH du sol (Nilsson et al., 1982).

ii) Au début, la coupe rase a pour effet d'augmenter le pH du sol à cause de l'élimination directe des cations accumulés dans les arbres (Seip et Tollan, 1978). Le reboisement entraîne la diminution progressive du taux de neutralisation et le rétablissement des processus d'acidification (Nilsson et al., 1982).

iii) Les incendies de forêt occasionnent une augmentation du pH du sol, où se déposent des cendres alcalines résultant de l'oxydation des acides organiques. Cette augmentation peut atteindre trois unités lorsque les incendies sont intenses. Des études ont démontré que, dans la zone boréale du Canada, jusqu'à 10 ans peuvent s'écouler avant que le pH du sol ne retombe à sa valeur antérieure à l'incendie (Diebold, 1942; Armson, 1977).

iv) Sur les terres déboisées abandonnées, l'apparition progressive de conifères ou de feuillus a pour résultat un abaissement plus ou moins considérable du pH du sol (Krug et Frink, 1983);

v) Sur les terres reboisées, la couche plus épaisse d'humus réduit l'infiltration de l'eau dans le sous-sol, ce qui donne lieu à des écoulements d'eau acide à la surface (Rosenqvist, 1978; Krug et Frink, 1983).

La controverse sur le rapport entre l'acidification des eaux de surface et les retombées acides résulte en grande partie de l'existence de deux angles d'approche à ce problème : le point de vue régional (c'est-à-dire provincial) et, à l'inverse, le point de vue local (c'est-à-dire à l'échelle d'un bassin hydrographique ou lacustre). La gestion des terres peut entraîner l'acidification du sol et être l'une des causes locales de l'acidité constatée dans les eaux de surface. Jusqu'à présent, trop peu de recherches ont été effectuées sur le rôle comparatif des retombées acides et des autres sources d'acidité dans le processus d'acidification des eaux de surface. Lefohn et Klock (1985) recommandent la prudence lorsqu'on tente d'établir un lien entre les dépôts acides et la diminution du pH de l'eau des ruisseaux, des rivières et des lacs.

Les travaux de recherche réalisés en Norvège par Drablos et Sevaldrud (1980), Drablos et al. (1980), Overrein et al. (1980) ainsi que par Timberlid (1980) ont tous permis de conclure que les méthodes de gestion des terres, et notamment la restauration forestière des terres abandonnées, engendraient une acidification locale des sols.

Il serait fallacieux d'affirmer que les méthodes de gestion des terres sont les seules causes de l'acidification régionale observée en Amérique du Nord et en Scandinavie, et que la pollution atmosphérique n'y est pour rien. L'acidification des lacs a été constatée dans des régions éloignées où peu de changements avaient été apportés à l'utilisation des terres, comme les monts La Cloche, en Ontario (Havas et al., 1984). Watt et ses collaborateurs (1979) ont échantillonné 21 lacs de la Nouvelle-Écosse antérieurement étudiés par Gorham (1957), et ont constaté que 16 d'entre eux, qui n'avaient pas été perturbés, étaient devenus plus acides en 1977. Les cinq autres lacs avaient connu des pertubations, et dans quatre d'entre eux, le pH avait diminué. Dans le cinquième, le pH avait augmenté.

Par contre, Schindler et Ruszezynski (1983) ont observé, au cours de la période de 1973 à 1978, une augmentation du pH de certains lacs de la Région des lacs expérimentaux (RLE), en Ontario, dont le bassin versant avait été perturbé; dans les lacs non perturbés, le pH n'avait pas changé. La RLE ne reçoit que très peu de retombées acides.

3.2 Foresterie

Le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, y compris le bassin versant de la rivière Clyde, a été habité et activement exploité par les Européens dès le milieu du XVII^{e} siècle. L'économie de ces premières colonies était fondée sur la pêche à la morue et la chasse à la baleine au large des côtes. Autour des établissements, de petites zones ont été défrichées et cultivées, mais les habitants n'en tiraient rien de plus que leur subsistance, en raison de la rigueur du climat et du relief du terrain.

Une industrie de construction navale s'est développée parallèlement à la pêche hauturière. En 1806, une scierie et un barrage ont été construits à Port Clyde. Le bois était coupé le long de la rivière et de ses tributaires, et transporté par flottage à Port Clyde. Dès 1900, le bois de qualité appropriée pour la construction des navires était épuisé, et les arbres qui restaient ne convenaient que pour la fabrication de pâte. Dans l'un des premiers relevés des terres de la province, on décrit les forêts du bassin de la Clyde comme ayant été fortement écrémées (Fernow, 1912).

L'exploitation forestière le long des rivières peut causer leur envasement, à cause de l'augmentation du ruissellement, et faire grimper la température de l'eau en raison du plus fort ensoleillement (Dorcey et al., 1980). Ces deux facteurs nuisent à la reproduction du saumon (Knight, 1907; MacEachern et MacDonald, 1962; Narver, 1971). Les frayères de la Clyde et d'autres rivières de la Nouvelle-Écosse étaient régulièrement détruites au printemps par le bois flotté, qui creusait le lit de ces cours d'eau (MacEachern et MacDonald, 1962). Dans leurs rapports de 1868 et 1884 (Veith, 1884), les agents des pêches déploraient la construction de barrages de scierie, à Port Clyde et à Clyde River, sans échelles à poissons convenables.

Graduellement, l'exploitation forestière dans la région a perdu de son importance. De nos jours, seules de petites quantités de bois à pâte sont coupées et expédiées par camion à Liverpool. Le flottage du bois ne se fait plus depuis le milieu des années 1950 (Perry, 1983).

3.3 Incendies

L'exploitation forestière a rendu accessible l'intérieur des terres, ce qui a entraîné une augmentation du nombre d'incendies dans le bassin versant. Les archives racontent comment de vastes superficies du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse ont été incendiées à maintes reprises avant 1900 (Wein et Moore, 1979). Selon Fernow (1912), 90 % du bassin versant de la rivière Clyde était formé de terres dénudées naturellement ou par les incendies. La majorité de ces incendies étaient provoqués en vue de détruire les arbustes et arbrisseaux ou de préparer le terrain pour la culture des bleuets (Strang, 1972).

Ce n'est qu'au début du XX^{e} siècle que s'est amorcée la restauration intensive de la couverture végétale du bassin de la Clyde, avec la mise au point de méthodes de gestion forestière et de lutte contre les incendies de forêt dans la province. La récolte intensive de bois et les incendies répétés dans le bassin de la Clyde auraient causé une augmentation du pH du sol en raison de l'alcalinité accrue de la surface. En 1954, 49 % du bassin avait été reboisé et, en 1970, cette proportion avait encore grimpé de 23 % pour atteindre 72 %. Toutes les superficies incendiées ou exploitées ainsi que 68 % des zones d'arbustes et d'arbrisseaux étaient redevenues des forêts (tableaux 1 et 2).

3.4 Changements d'utilisation des terres

L'agriculture n'a pas été une activité intensive dans le bassin versant. Le terrain, accidenté, convenait plutôt à l'élevage des bovins et des ovins ainsi qu'à la culture des céréales. Les hivers doux ont permis l'établissement de vergers, qui ont cependant été

Tableau 1

Changements dans la couverture des terres du bassin versant de la rivière Clyde, de 1954 à 1970

Couverture	1954		1970		Changement total
	ha	%	ha	%	%
Terres humides	14 015	15,0	14 033	15,0	0
Eau	4 815	5,1	4 823	5,1	0
Brûlis	5 830	6,2	0	0	- 6,2
Terres dénudées et rocheuses	282	0,3	282	0,3	0
Surfaces déboisées	800	0,9	0	0	- 0,9
Arbustes et arbrisseaux	20 581	22,0	6 625	7,1	-14,9
Forêt	46 057	49,2	67 353	71,8	+22,6
Terres agricoles	794	0,8	436	0,5	- 0,3
Zones habitées	433	0,5	157	0,2	- 0,3
Zones non classées	102	0,1	0	0	- 0,1
Total	93 709	100	93 709	100	

Tableau 2

Superficie incendiée dans le bassin versant de la rivière Clyde, de 1954 à 1984

Années	Superficie incendiée (ha)	% de la superficie du bassin versant
1954 à 1959	176	0,2
1960 à 1964	4 226	4,5
1965 à 1969	126	0,2
1970 à 1974	50	0,1
1975 à 1979	209	0,2
1980 à 1984	5	0,0

Source: Centre des incendies du ministère des Terres et des Forêts de la Nouvelle-Écosse, Shubenacadie

abandonnés au début des années 70 (Statistique Canada, 1978).

La superficie des terres cultivées le long de la Clyde diminue constamment. Entre 1954 et 1970, elles est passée de 794 ha à 436 ha, ce qui représente une réduction de 45 %. Au cours de la même période, la superficie des zones habitées a également chuté, passant de 433 ha à 157 ha (tableau 1).

L'utilisation de pesticides pour l'exploitation forestière ou agricole n'a pas été forte dans le bassin versant de la rivière Clyde et a peu contribué à la dégradation de la qualité des eaux de surface.

3.5 Résumé

Il est impossible de prouver hors de tout doute que les méthodes de gestion des terres employées par le passé ont eu pour résultat l'acidification accrue des eaux de la Clyde et d'autres rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, car les données chronologiques ne sont pas complètes. Il est toutefois permis de se demander, à la lumière des données disponibles, si les retombées acides sont vraiment la seule cause de l'acidification de ces eaux.

Les incendies répétés, qui ont dévasté suffisamment de territoire pour que Fernow (1912) classe 90 % du bassin versant de la rivière Clyde dans la catégorie des terres dénudées naturellement ou par le feu, auraient entraîné une élévation générale du pH des eaux de surface en raison de l'alcalinité accrue de la surface du sol. Dans un deuxième temps, le reboisement du bassin depuis 1900 aurait provoqué une augmentation de l'acidité du sol et, donc, des eaux de surface. La faiblesse du pH (entre 5,0 et 5,5) de la Clyde et des autres rivières avoisinantes (Thomas, 1960) peut aussi indiquer une augmentation de l'acidité des eaux attribuable à une acidité accrue du sol, coïncidant avec les premiers effets des retombées acides enregistrés en Nouvelle-Écosse au cours de la période 1950-1965 (Watt et al., 1979). Ainsi, ces deux facteurs peuvent avoir influé sur l'acidité des eaux de surface.

4.0 RÔLE DES TERRES HUMIDES DANS LE PROCESSUS D'ACIDIFICATION

Venons-en maintenant aux connaissances que l'on possède actuellement sur le rôle des terres humides dans le processus d'acidification des eaux de surface, et à leur application à la région du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Pour cette étude, le pH, la couleur et les concentrations de sulfates et d'acides organiques ont été mesurés dans deux types de bassins versants différenciés par le pourcentage de terres humides présentes.

4.1 Influence des terres humides

Les terres humides sont des terres dont la nappe phréatique se trouve près ou au-dessus de la surface du sol, ou qui sont saturées en eau suffisamment longtemps pour favoriser les processus aquatiques ou propres aux terres humides (annexe III). Elles comprennent les tourbières, qui se forment par l'accumulation de matières végétales en décomposition, ou de tourbe, et sont associées aux sols organiques. Parmi ces terres, on compte aussi les sols minéraux qui, pour des raisons climatiques, édaphiques ou biotiques, ne produisent guère ou pas de tourbe (Tarnocai, 1979).

Les tourbières constituent une source considérable d'acidité organique et un important réceptacle pour les sulfates dans l'environnement. Ce sont là deux facteurs dont il faut tenir compte dans l'étude de l'acidification des eaux de surface (Rosenqvist, 1978; Kerekes et al., 1982; Gorham et al., 1984; LaZerte et Dillon, 1984).

Les cycles biogéochimiques des acides organiques et du soufre présents dans les tourbières sont sujets à une variation saisonnière. Les acides organiques faibles (humiques et fulviques) sont produits par la décomposition de la matière organique et confèrent aux eaux de surface une couleur jaunâtre ou brunâtre. Lorsque le sol est saturé d'eau, comme au printemps et à l'automne, il se forme moins d'acides organiques, mais pendant l'été, l'aération accrue de la surface de la tourbe favorise la décomposition des matières végétales et, donc, la production de ces acides.

La tourbe contient naturellement du soufre à l'état réduit, qui se trouve sous diverses formes dans les tissus et les résidus végétaux (Reuss, 1976). L'été, lorsque la surface de la nappe phréatique baisse, ces composés sont oxydés en sulfates par des bactéries chimiotrophes aérobies (Goode et al., 1977; Gosselink et Turner, 1978; Clymo, 1983). L'hydrogène ainsi libéré donne lieu à la formation d'acides (Reuss, 1976). Au printemps et à l'automne, lorsque la surface de la nappe s'élève considérablement, les sulfates sont réduits en sulfures.

L'analyse du bilan ionique annuel de certaines eaux colorées de la Nouvelle-Écosse (Kerekes et al., 1985) et de l'Ontario (LaZerte et Dillon, 1984) montre que les concentrations de sulfates et d'anions organiques varient de façon cyclique et en sens inverse (figures 5 et 6). D'après ces analyses, la concentration d'anions sulfate est la plus élevée pendant la crue du printemps, car les sulfates d'origine atmosphérique, qui s'accumulent dans la neige, sont libérés avec les eaux de fonte. Au cours de cette période, la concentration d'anions organiques est faible parce que le sol est saturé d'eau. Pendant l'été, la concentration de sulfates dans les eaux d'écoulement diminue, car l'évapotranspiration s'accroît et la surface de saturation baisse, ce qui réduit le ruissellement et favorise l'oxydation des sulfates. En même temps, la concentration d'anions organiques augmente en raison de l'aération de la surface de la tourbe, qui contribue à la décomposition de la matière organique ainsi qu'à la croissance des sphaignes. À l'automne, les précipitations étant plus abondantes, la surface de saturation monte et l'écoulement de l'eau des tourbières augmente. La concentration de sulfates atteint alors un nouveau sommet, car ces anions, qui se sont accumulés durant l'été sous l'effet des pluies et du phénomène d'oxydation, sont entraînés par les eaux qui s'écoulent des tourbières.

Selon Kerekes et al. (1982), les concentrations maximales de sulfates enregistrées au printemps sont plus faibles en Nouvelle-Écosse, sont plus faibles qu'en Ontario. Ce phénomène est attribué au climat maritime de la Nouvelle-Écosse, caractérisé par des chutes de neige moins abondantes et de nombreuses périodes de dégel. En outre, les précipitations sont moins acides en hiver qu'en été. En effet, pendant la période hivernale, le vent vient du nord, où il n'existe aucune source importante d'émission de sulfates dans l'atmosphère.

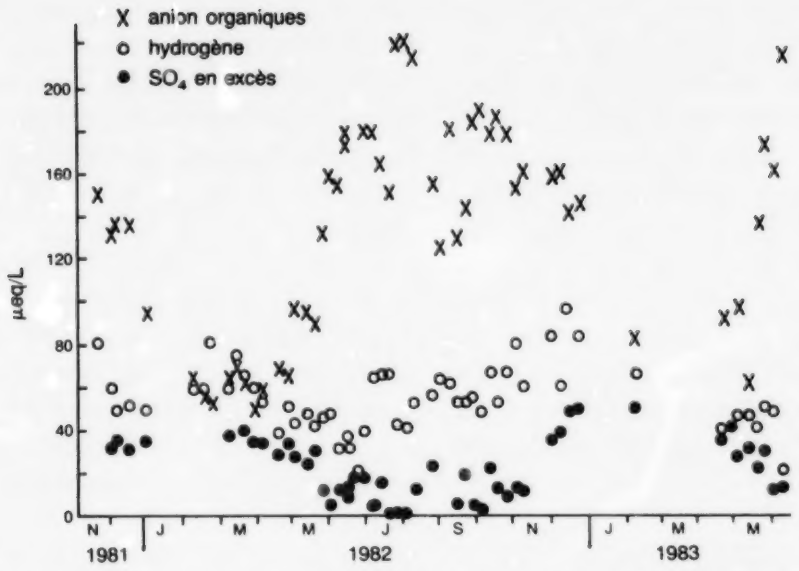


Figure 5 : Importance relative de l'acidité d'origine anthropique et de à l'acidité organique dans le ruisseau Atkins (Nouvelle-Écosse). Les concentrations de sulfates (valeurs corrigées par rapport au sel marin) et d'anions organiques subissent de fortes fluctuations cycliques en sens inverse. (Source : Kerekes *et al.*, 1985)

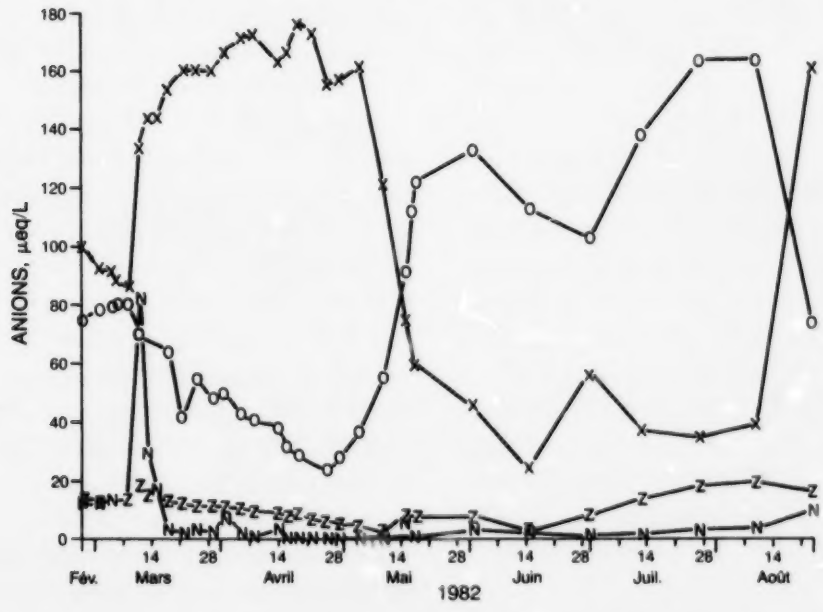


Figure 6 : Concentration, en équivalents, des sulfates (X), des anions organiques (O), des nitrates (N) et d'autres anions, principalement les chlorures et les bicarbonates (Z), dans le principal cours d'eau drainant le bassin du lac Plastic; les points ont été reliés pour faciliter la lecture. (Source : LaZerte et Dillon, 1984)

Par leurs travaux, Kerekes et Howell (1983) ainsi que Kerekes et al. (1984) ont grandement contribué à la mise au point de méthodes précises de dosage des sulfates dans les eaux humiques. Ils ont constaté que la méthode au bleu de méthylthymol utilisée jusque-là engendrait une surestimation des sulfates dans les eaux colorées par des matières organiques, car elle était fortement influencée par la couleur. La chromatographie ionique permettait d'obtenir des résultats plus exacts. À la lumière de cette découverte, il a fallu réévaluer toutes les données déjà recueillies sur les sulfates et sur leur lien avec l'acidification, particulièrement dans les cas où il était établi que les eaux échantillonnées étaient colorées.

Les eaux de surface contenant en majorité des acides organiques sont jugées moins vulnérables que les eaux claires aux retombées acides car les acides organiques faibles accroissent l'efficacité des systèmes tampons et la capacité de neutralisation des acides (Mason et Seip, 1985). Les acides organiques réduisent aussi la toxicité des métaux. L'aluminium, l'un des métaux qui présentent le plus de dangers pour la survie et la reproduction du poisson dans les lacs acidifiés, est moins toxique s'il est intégré dans un composé organique (le citrate d'aluminium en est un exemple) que sous sa forme libre (Al^{3+}) ou entre dans la composition d'un composé inorganique. Par conséquent, certaines espèces de poissons peuvent survivre dans les eaux brunâtres d'un lac qui contient des composés organométalliques; sous une autre forme, ces métaux seraient toxiques (Havas et al., 1984; Mason et Seip, 1985).

Le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse contient d'importants dépôts de tourbe (environ 17,7 millions de tonnes), qui pourraient servir à la production d'énergie (Monenco Ontario Ltd., 1978). Il a été proposé d'exploiter quelques-uns de ces dépôts, notamment la tourbière oligotrophe de Barrington (Anderson, comm. pers.), près de l'embouchure de la Clyde, qui deviendraient des sources locales d'énergie. On estime à 5 700 ha environ la superficie des tourbières du bassin versant de la rivière Clyde.

Le drainage de ces tourbières pour la production d'énergie, pour l'exploitation forestière ou l'exploitation agricole aurait un effet important sur la composition de l'eau de la rivière. Les eaux de drainage sont ordinairement très acides et contiennent beaucoup de matières en suspension et de métaux lourds (Carpenter, 1981). Il faudrait aussi tenir compte des conséquences de ces projets sur le rétablissement futur des pêcheries.

La chimie des eaux humiques colorées, dont les caractéristiques sont uniques, est encore mal connue. Il faudra poursuivre les recherches dans ce domaine pour en arriver à mieux comprendre les effets des dépôts acides sur ces eaux, et pour définir le rôle des terres humides dans l'acidification des eaux de surface.

4.2 Analyse

Les données sur la qualité de l'eau de la rivière Clyde couvrent une période de 16 mois, de 1979 à 1980, et sont insuffisantes pour permettre de déterminer quantitativement dans quelle mesure les termes humides influent sur la qualité des eaux de surface. En outre, le dosage des sulfates de la Clyde a été fait par la méthode au bleu de méthylthymol, dont les résultats ne correspondent pas fidèlement à la

réalité. Par conséquent, d'autres rivières ont été étudiées (figure 3) : six dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, et trois dans des régions moins vulnérables aux retombées acides (Hirvonen, 1984). Dans quatre de ces rivières, les sulfates ont été dosés par chromatographie ionique de décembre 1983 à juin 1984. Voici la liste de tous les cours d'eau étudiés :

i) Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse :

Rivière Barrington, comté de Shelburne
Rivière Clyde, comté de Shelburne
Rivière Jordan, comté de Shelburne
Rivière Mersey, comté de Queens
Rivière Roseway, comté de Shelburne*
Rivière Sissiboo, comté de Digby
Rivière Tusket, comté de Yarmouth*

* Rivières où les sulfates ont été dosés par chromatographie ionique.

ii) Autres régions de la Nouvelle-Écosse :

Rivière LaHave, comté de Lunenburg*
Rivière Medway, comté de Queens*
Rivière Musquodoboit, comté de Halifax

Les données sur la qualité des eaux de surface ont été extraites de la base NAQUADAT, de la Direction générale des eaux intérieures d'Environnement Canada. Pour les principaux anions et cations, les concentrations mensuelles moyennes et pondérées ont été calculées grâce au Système de données sur les terres du Canada (SDTC) d'Environnement Canada. La méthode de Watt et al. (1983b) et celle d'Oliver et al. (1983) ont été employées, respectivement, pour le calcul des teneurs en carbone organique dissous et en anions organiques.

1) Carbone organique dissous :

mg/L de COD = 3,40 + 0,0965 (eaux colorées)
COD = carbone organique dissous

2) Anions organiques :

$$A^- = \frac{K\,[C_t]}{K+[H+]}$$

A^- = concentration d'anions organiques (en meq/L)
$pK = 0{,}96 + 0{,}90\ pH - 0{,}039\ (pH)^2$
$K = 10^{-pK}$
C_t = COD x 10
K = quotient de l'action de masse
C_t = concentration d'acides organiques
pK = fonction logarithmique de K

* Rivières où les sulfates ont été dolés par chromatographie ionique.

Les données du Service canadien de la faune (SCFaune) recueillies dans le cadre de son programme de désignation et de cartographie pour la protection des terres humides (Smith et al., 1981) ont été utilisées pour obtenir la superficie approximative de toutes les terres humides de chacun des bassins versants (tableau 3). Pour chaque bassin de la Nouvelle-Écosse, les terres humides de plus de 0,25 ha avaient été cartographiées. Les terres humides classées dans les catégories des tourbières oligotrophes et des marécages ont été considérées comme des tourbières.

Les valeurs mentionnées dans le tableau pour la superficie des terres humides et des tour-

TABLEAU 3

Superficie totale des terres humides et des tourbières dans chaque bassin versant.

Bassin	Superficie Totale (en ha)		Percentage de la superficie du bassin versant	
	Terres humides (ha)	Tourbières (ha)	Terres humides	Tourbières
Barrington	1 192	1 086	3.8	3.5
Clyde	5 758	5 670	6.2	6.1
Jordan	3 392	3 256	9.5	9.1
La Have	6 564	6 011	4.3	3.9
Medway	8 899	8 429	6.0	5.7
Mersey	14 270	13 978	7.2	7.1
Musquodoboit	2 965	2 137	4.3	3.1
Roseway	3 358	3 303	6.4	6.3
Sissiboo	2 418	2 099	3.8	3.3
Tusket	7 590	6 416	7.1	6.0

bières se situent plutôt en deçà de la vérité. Les marécages de forêt, dont l'étendue peut être considérable en Nouvelle-Écosse et qui peuvent consister en d'épais dépôts de tourbe, ne figurent pas sur les cartes du SCF (Kessel-Taylor, 1984).

Les dix rivières peuvent être classées en deux grandes catégories :

i) les eaux de surface colorées, comprenant sept rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (tableau 4);

ii) les eaux de surface claires, comprenant les trois autres rivières (tableau 5).

Les eaux sont dites colorées si la mesure moyenne de leur coloration est supérieure à 65 unités relatives*.

4.2.1 Eaux de surface colorées

La composition physique des bassins versants drainés par les rivières aux eaux colorées étudiées ici ressemble à celle du bassin de la Clyde, qui est décrite à l'annexe I. Selon Nicholson (1984), c'est dans les comtés de Yarmouth et de Shelburne que l'on trouve le plus de tourbe pouvant servir de combustible. Dans les sept bassins versants, le pourcentage total de terres humides varie entre 3,8 et 9,5.

L'intervalle de variation du pH moyen de ces rivières est de 4,48, à 4,94. Dans toutes les rivières, la fluctuation saisonnière de l'acidité peut atteindre une unité de pH. L'alcalinité est inférieure à 25,0 meq/L. Dans les rivières Tusket, Roseway et Mersey, les principaux anions, après les chlorures provenant des embruns marins, sont les anions organiques, c'est-à-dire l'acidité organique (tableau 4).

On a constaté que la différence de concentration entre les anions organiques et les sulfates pouvait atteindre 60,0 meq/L, et il est probable qu'il en est ainsi pour les rivières Clyde, Barrington, Jordan et Sissiboo.

Les points de ressemblance entre les rivières et les eaux de surface du parc national Kejimkujik permettent d'établir par extrapolation, pour les cours d'eau étudiés, l'existence d'un cycle d'acidité organique tel que que celui proposé par Kerekes et al. (1985) (section 4.1).

Conformément à ce cycle, l'acidité organique diminuerait de janvier à avril, augmenterait en mai et en juin, atteindrait souvent un sommet en août et diminuerait à l'automne en raison de la montée de la surface de saturation, causée par les pluies. Ce cycle pourrait varier légèrement pour chacun des cours d'eau parce que le modèle ne tient pas compte de l'humus, qui est une importante source d'acides organiques (Rosenqvist, 1978).

Si l'on compare les concentrations annuelles moyennes de sulfates, on constate que, dans le cas de la rivière Tusket, elles sont légèrement plus élevées (43,0 meq/L) que dans les précipitations (37,2 meq/L), à l'inverse de la rivière Roseway, où les concentrations correspondantes sont de 31,0 et 37,2 meq/L (tableau 6). D'après ces résultats, il est possible que les terres humides du bassin de la Tusket

---

* Cette valeur a été choisie de façon arbitraire et est fondée sur la différence moyenne des lectures obtenues pour les sept rivières aux eaux colorées et les trois aux eaux claires.

Tableau 4

Valeurs annuelles moyennes des teneurs en ions et des paramètres mesurés dans sept rivières aux eaux colorées de la Nouvelle-Écosse

Rivière	Pourcentage de terres humides dans le bassin versant	Ca meq/L	Mg meq/L	Na meq/L	K meq/L	Fe meq/L	H meq/L	pH	NH_4 meq/L	Al meq/L
Barrington	3,8	43,0	67,0	244,0	13,0	-	27,0	4,57	-	24,0
Clyde	6,2	39,0	45,0	167,0	10,0	-	21,0	4,67	-	20,0
Jordan	9,5	35,0	40,0	147,0	11,0	-	26,0	4,59	-	20,0
Roseway	6,4	26,0	38,0	134,0	8,0	4,0	33,0	4,48	-	27,0
Mersey	7,2	32,0	41,0	131,0	7,0	4,0	11,0	4,94	-	18,0
Tusket	7,1	37,0	49,0	163,0	10,0	5,0	22,0	4,64	-	28,0
Sissiboo	3,8	44,0	47,0	145,0	21,0	6,0	19,0	4,71	-	-

Rivière	SO_4 meq/L	SO_4 en excès meq/L	CL meq/L	NO_3 meq/L	Anions organiques* meq/L	Alcalinité mg/L	Couleur (unités relatives)	Carbone organique dissous mg/L**	Conductivité US/cm
Barrington	-	-	257,0	-	122,0	0,16	90,0	12,09	57,60
Clyde	-	-	169,0	-	141,0	-0,04	109,4	13,96	41,82
Jordan	-	-	134,0	-	126,0	0,13	93,7	12,43	38,99
Roseway	44,0	31,0	136,0	-	104,0	0,57	102,1	13,25	36,78
Mersey	-	-	137,0	2,0	107,0	0,62	75,4	10,67	31,53
Tusket	59,0	43,0	177,0	-	101,0	0,97	93,0	12,38	39,24
Sissiboo	-	-	163,0	-	123,0	1,07	92,6	2,34	35,30

Tableau 5

Valeurs annuelles moyennes des teneurs en ions et des paramètres mesurés dans trois rivières aux eaux claires de la Nouvelle-Écosse

Rivière	Pourcentage de terres humides dans le bassin versant	Ca meq/L	Mg meq/L	Na meq/L	K meq/L	Fe meq/L	H meq/L	pH	NH_4 meq/L	Al meq/L
LaHave	4,3	69,0	48,0	113,0	11,0	2,0	2,0	5,64	-	18,0
Medway	6,0	36,0	43,0	126,0	8,0	4,0	6,0	5,22	-	16,0
Musquodoboit	4,3	268,0	88,0	110,0	13,0	2,0	4,0	6,38	-	14,0

Rivière	SO_4 meq/L	SO_4 en excès meq/L	CL meq/L	NO_3 meq/L	Anions organiques* meq/L	Alcalinité mg/L	Couleur (unités relatives)	Carbone organique dissous mg/L**	Conductivité US/cm
LaHave	69,0	57,0	116,0	-	76,0	43,0	43,98	76,4	27,99
Medway	54,0	40,0	129,0	1,0	73,0	22,0	57,53	89,5	29,37
Musquodoboit	-	-	119,0	1,0	66,0	136,0	33,16	66,0	51,66

Les valeurs ont été calculées à l'aide des données de la base NAQUADAT de la Direction générale des eaux intérieures.

Le pourcentage des terres humides dans chaque bassin versant a été établi d'après les données du programme de désignation et de cartographie pour la protection des terres humides (Service canadien de la faune, Région de l'Atlantique).

Les chiffres représentent les valeurs moyennes pondérées par rapport au débit.

Étant donné les problèmes occasionnés par le dosage des sulfates dans les eaux colorées, il a été impossible d'indiquer les valeurs de ce paramètre pour toutes les rivières et, donc, de calculer la concentration totale des anions ou le rapport entre les anions et les cations.

* Pour le calcul de l'acidité organique, voir Oliver et al. (1983).

** Pour le calcul du carbone organique dissous, voir Watt et al. (1983b).

Tableau 6

Comparaison des concentrations moyennes de sulfates dans les précipitations et dans les eaux de cinq rivières étudiées

Concentrations moyennes de sulfates (en meq/L) dans les précipitations*

STATION DU RCEP	CONCENTRATION MOYENNE DE SO_4	CONCENTRATION DE SO_4 CORRIGÉE POUR LE SEL MARIN
Kejimkujik	32,7	29,3
Shelburne	50,8	39,1
Truro	46,4	43,1
MOYENNE	43,3	37,2

Concentrations moyennes de sulfates dans les rivières (en meq/L)**

RIVIÈRE	CONCENTRATION MOYENNE DE SO_4	CONCENTRATION DE SO_4 CORRIGÉE POUR LE SEL MARIN
LaHave	69,0	57,0
Medway	54,0	40,0
Mersey, cours supérieur***	54,0	39,0
Roseway	44,0	31,0
Tusket	59,0	43,0

* Calculées à l'aide des données du RCEP (Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations) pour la période de 1977 à 1983.

** Sulfates dosés par chromatographie ionique (données de la NAQUADAT pour la période de 1982 à 1984).

*** Source: Clair et Freedman (1985).

produisent des sulfates et que le bassin versant de la rivière Roseway, pour sa part, les assimile. Pour expliquer cette différence, d'autres études seraient nécessaires.

Dans toutes les eaux de surface colorées, les concentrations d'aluminium sont élevées et varient entre 18,0 et 27,0 meq/L, alors que dans les eaux claires, l'intervalle de variation est de 14,0 à 18,0 meq/L. La teneur en aluminium est fonction du pH. Au-dessous de pH 5,0, l'échange entre l'hydrogène et l'aluminium se fait facilement, et ce dernier est libéré. Comme nous l'avons déjà mentionné, la présence d'acides organiques semble réduire la toxicité de l'aluminium dans les rivières, quoique l'on ne s'explique pas très bien la formation de ses complexes organométalliques (Mason et Seip, 1985).

Les rivières aux eaux colorées ne contiennent pas beaucoup de matières. Les concentrations de carbone organique dissous varient entre 23,0 et 132,0 meq/L. Dans tous les cours d'eau, le sodium et les chlorures des embruns marins sont les ions dominants. Dans les rivières importantes telles que la Mersey, où les concentrations de sel marin diminuent considérablement à l'intérieur des terres, on a observé que les teneurs en sodium et en chlorures (Na: 131 meq/L; Cl: 137 meq/L) étaient moins élevées que dans les rivières comme la Barrington (Na: 244 meq/L; Cl: 257 meq/L), dont tout le bassin subit les effets des embruns (tableau 4).

Dans toutes les rivières, le NO_3 et le NH_4 étaient présents en faible quantité ou n'ont pu être décelés en raison, croit-on, de la demande biologique, du phénomène de réduction résultant de l'activité microbienne et de la dénitrification, dont les effets n'étaient pas compensés par les apports (Gorham et al., 1984).

4.2.2 Eaux de surface claires

L'influence des terres humides sur la composition chimique de ces eaux a été moindre. Les terres humides occupent de 4,3 à 6,0 % de la superficie des bassins versants.

Le bassin de la Medway ressemble beaucoup à celui des sept rivières aux eaux colorées, mais l'épaisseur du sol est plus considérable au sud, le pourcentage de terres humides est moins élevé, et l'eau est plus claire. Le bassin de la rivière LaHave repose sur du schiste, et son sol est plus profond que celui des autres bassins. L'exploitation agricole se fait sur les vastes drumlins qui recouvrent du granite dévonien et du schiste précambrien. La végétation se compose surtout de forêts de bois mixte (Cann et Hilchey, 1959). La rivière Musquodoboit, qui repose sur du calcaire et du gypse carbonifères ainsi que sur des évaporites, contient plus de calcium, de magnésium, de sulfates et d'aluminium que les autres rivières étudiées (Watt et al., 1983a). Les sols sont en grande partie constitués d'une épaisse couche d'argile, qui va du loam sablo-argileux au loam argileux (MacDougall et al., 1963).

Le pH moyen de ces rivières va de 5,2 à 6,4, et l'ampleur des fluctuations saisonnières est d'environ une demi-unité. Leur alcalinité (de 22,0 à 136 meq/L) est plus élevée que celle des rivières aux eaux colorées. Dans la rivière LaHave, les concentrations de sulfates (69,0 meq/L) et d'anions organiques (76,0 meq/L) sont presque semblables. Dans le cas

de la rivière Medway, on a constaté que la teneur en anions organiques (73,0 meq/L) était légèrement supérieure à celle en sulfates (54,0 meq/L), comme l'indique le tableau 5.

Si l'on compare l'acidité organique des trois rivières, on peut voir que le cycle proposé par Kerekes et al. (1983), dont il est question à la section 4.1, s'applique seulement à la rivière LaHave. La diminution de l'acidité organique des eaux de la Musquodoboit et de la Medway pendant l'été n'a pu être expliquée.

4.3 Analyse statistique

Une analyse de régression simple a été effectuée. Le pourcentage total des terres humides et le pourcentage total des tourbières, dans chacun des bassins versants, ont servi tour à tour de variable indépendante; la variable dépendante était la concentration des ions dans chaque bassin versant (annexe II). Une forte corrélation a été constatée entre, d'une part, le pourcentage total des terres humides et, d'autre part, le magnésium, le potassium et le carbone organique dissous (r^2 compris entre 0,3105 et 0,3592). Pour toutes les autres variables, la corrélation était de faible à nulle.

En posant comme variable indépendante le pourcentage des tourbières, on a observé une corrélation légèrement meilleure avec le calcium, l'hydrogène, les cations totaux, l'alcalinité et la couleur. En général, les corrélations qui n'étaient pas significatives dans le cas des terres humides étaient faibles dans celui des tourbières. On a constaté une meilleure corrélation pour le magnésium et le carbone organique dissous, mais la corrélation avec le potassium est demeurée la même.

On avait prévu une forte corrélation entre le pourcentage de terres humides et l'acidité organique, ce qui n'a pas été le cas. Il se pourrait que la taille des échantillons ait été insuffisante, ou qu'il se trouve dans le bassin versant d'autres sources importantes d'acidité organique, comme l'humus (Rosenqvist, 1978), la végétation (Reuss, 1976), le substrat rocheux (Krug et al., 1985) et les retombées atmosphériques. On ne peut toutefois pas discuter du rapport entre l'acidité des eaux de surface et l'acidité produite par les terres humides sans tenir compte d'autres facteurs comme le substrat rocheux, la végétation et l'utilisation des terres.

4.4 Résumé

L'analyse de ces dix rivières permet de tirer les quatre conclusions suivantes :

i) Les rivières aux eaux colorées visées par l'étude sont naturellement acides parce qu'elles contiennent d'importantes quantités d'acides organiques et, du point de vue chimique, elles sont différentes des rivières aux eaux claires. Les données sur les sulfates qui ont pu être obtenues indiquent que, comparativement, les teneurs en anions organiques sont supérieures, et, par extrapolation, on pourrait dire qu'il en est de même pour toutes les rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse dont les eaux sont colorées. Les résultats de la recherche actuelle sur les eaux de surface claires ne peuvent pas s'appliquer directement aux eaux colorées.

ii) Les rivières aux eaux colorées contenaient plus d'aluminium total que les

rivières aux eaux claires, en raison du rôle joué par le pH.

iii) Une forte corrélation a été observée entre, d'une part, la superficie des terres humides et, d'autre part, le magnésium, le calcium et le carbone organique dissous, ce qui porte à croire que les terres humides peuvent avoir une influence sur la concentration de ces derniers dans les eaux de surface.

iv) Aucune corrélation n'a été observée entre la superficie des terres humides et les sulfates, le pH ou l'acidité organique en raison de la présence d'autres sources importantes d'apports acides dans l'environnement, comme les précipitations ou l'humus.

5.0 CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DE CAS

Les rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse sont naturellement acides en raison de l'acidité organique provenant des bassins versants, et les populations de saumons y ont été naturellement réduites à cause de ces conditions.

Jusqu'en 1950, avant que les premiers effets des retombées acides en Nouvelle-Écosse ne soient signalés, les populations de saumons de la Clyde et d'autres rivières du sud-ouest de la province ont été maintes fois fortement réduites, directement par la surpêche et indirectement par la dégradation des habitats attribuable en grande partie à l'abattage du bois. Il en est résulté la disparition presque complète des populations naturelles dans les rivières Jordan, Roseway et Barrington, ainsi qu'une diminution considérable du nombre de saumons dans les autres rivières (Smith, 1981).

De 1950 à 1960, époque de l'apparition des effets des dépôts acides (Watt et al., 1979), le saumon de la Clyde, de la Tusket et de la Mersey a également été affecté par la surpêche, notamment après 1959, lorsque la pêche hauturière battait son plein, ainsi que par les sécheresses des années 1950 et 1960, qui nuisaient au frai.

Au cours de cette même période, la couverture forestière qui s'était réimplantée au début du XX^{e} siècle dans les zones où les incendies et l'abattage avaient presque tout détruit atteignait sa maturité. La production d'acides organiques dans ces sols a également presque atteint un maximum, ce qui provoquait une acidification accrue des eaux de surface lors des périodes de débit de pointe.

En outre, entre 1950 et 1965, des cheminées plus hautes ont été construites pour les usines du nord-est des États-Unis utilisant des combustibles fossiles, les émissions des automobiles ont augmenté et l'industrialisation s'est intensifiée (Patrick et al., 1981; Klein et Klein, 1985). La hauteur des cheminées permettait le transport des polluants acides sur une plus grande distance et leur dépôt sur une superficie plus considérable.

L'étude de la rivière Clyde porte à croire que l'effet cumulatif des facteurs susmentionnés, joint à celui des dépôts acides, a causé la disparition des populations de saumons de la Clyde et d'autres rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. La gestion des pêches et des terres, les sources naturelles d'acidité telles que les terres humides ou le repeuplement

des terres forestières, et les retombées acides ont toutes contribué à la diminution des populations de saumons de l'Atlantique et à l'acidification des eaux de surface dans cette région. Les retombées acides, venant s'ajouter à l'emploi de mauvaises méthodes de gestion des pêches locales et internationales, aux changements des méthodes de gestion des terres et aux effets des terres humides, ont probablement donné le coup de grâce aux populations de saumons, qui n'ont pu se rétablir en raison de l'abaissement du pH.

Il est impossible de présumer que les stocks de saumons dans ces rivières se rétabliraient si les émissions acides étaient réduites à des limites "acceptables". Pour assurer ce rétablissement, il serait fort probablement nécessaire, en plus de prendre des mesures de lutte contre les précipitations acides, d'améliorer les habitats aquatiques et la gestion des stocks de saumons pour qu'ils puissent se reproduire, ainsi que d'établir un programme fédéral-provincial intégré de gestion des terres humides.

Bien qu'il soit impossible de déterminer avec exactitude l'importance relative de chacun de ces facteurs environnementaux par rapport aux dépôts acides, les résultats obtenus montrent qu'il existe des corrélations qualitatives et font valoir la nécessité d'avoir recours à une approche intégrée pour évaluer les incidences locales des retombées acides. Il faut déterminer dans quelle mesure les modes d'utilisation des terres ou les types de couverture des terres ont contribué à l'acidification des eaux de surface, évaluer dans quelle proportion les sources anthropiques ont amené cette situation et rechercher d'autres facteurs qui peuvent avoir influé sur l'effondrement des pêcheries. Faute de quoi, il ne sera peut-être pas possible de savoir si la réduction des retombées acides pourrait améliorer la qualité de l'eau et les pêcheries.

6.0 AUTRES RECHERCHES RECOMMANDÉES

Pour aider à départager l'effet des dépôts acides sur l'environnement aquatique et les autres facteurs d'effondrement des pêcheries et d'acidification des eaux de surface dans un bassin versant, trois recommandations sont formulées.

Il faudrait d'abord étudier de façon analogue un autre secteur de la région de l'Atlantique, en territoire canadien, physiquement comparable au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (Terre-Neuve, par exemple), qui reçoit à peu près la même quantité de retombées acides tout en possédant encore une population naturelle de saumons. Il serait ainsi possible de déterminer en quoi diffèrent les méthodes de gestion des pêches et des terres dans les deux régions, et d'obtenir plus d'information sur l'importance de ces facteurs pour la survie du saumon de l'Atlantique.

Ensuite, il serait utile de réaliser une étude de cas, semblable à celle de la rivière Clyde, qui porterait sur un bassin versant où l'exploitation agricole a été plus intensive; cela permettrait d'évaluer les effets des fertilisants et pesticides sur la qualité des eaux de surface ainsi que sur les stocks de poisson, et de traiter plus à fond les questions relatives à la gestion des terres étudiées dans le cas de la Clyde.

Enfin, il serait souhaitable d'entreprendre une étude plus détaillée du rôle que jouent

les terres humides dans l'acidification des eaux de surface et du rapport entre les changements dans l'utilisation des terres, notamment en foresterie, et l'augmentation locale du taux d'acidification. Ces travaux de recherche serviraient à déterminer l'acidité naturelle des bassins versants.

Des études spéciales pourraient être effectuées dans le parc national Kejimkujik, en Nouvelle-Écosse, où un programme détaillé de surveillance permet, depuis plusieurs années, de vérifier la qualité des eaux dans trois bassins lacustres : ceux du lac Beaverskin, aux eaux claires, du lac Pebbleloggitch, aux eaux très colorées, et du lac Kejimkujik, aux eaux moyennement colorées. La présence de terres humides influe sur la couleur et l'acidité des eaux des deux derniers lacs. Un relevé des terres humides dans ces bassins amènerait à déterminer les facteurs qui influent sur la couleur et l'acidité de l'eau, comme le type de végétation, la présence ou l'absence de certaines plantes, le débit des eaux souterraines et le type de terres humides. Les résultats obtenus, qui s'ajouteraient à la masse de données déjà recueillies sur la qualité de l'eau, la végétation et le sol, permettraient de brosser un tableau complet de l'écosystème terrestre de chaque bassin eu égard à l'acidification des eaux de surface.

On pourrait en outre appliquer à d'autres régions de l'est du Canada la méthode utilisée pour étudier l'influence des terres humides sur la qualité de l'eau de ces dix rivières de la Nouvelle-Écosse, afin de vérifier si les corrélations observées sont également caractéristiques d'autres environnements, et de recueillir des données permettant peut-être d'établir des corrélations plus fortes que celles constatées au cours de la présente étude.

7.0 RÉFÉRENCES

ANDERSON, S. Nova Scotia Department of Energy and Mines, Halifax (N.-É.), conversation, mars 1985.

ARCHIVES PUBLIQUES DU CANADA. Ministère de la marine et des pêcheries, Rapports, RG23, Ottawa (Ont.).

ARMSON, K.A. 1977, Forest Soils: Properties and Processes, University of Toronto Press, Toronto (Ont.), p. 224-237.

BROWN, D.J.A. et R.W. BROCKSEN. 1984, An analysis of the relationship between acid deposition, surface water acidification and loss of fisheries, A Specialty Conference on: Atmospheric Deposition, novembre 1982, éd. : Air Pollution Control Association, Détroit, Michigan, p. 342-351.

CANN, D.B. et J.D. HILCHEY. 1959, Soil Survey of Queens County, Nova Scotia, Nova Scotia Soil Survey, Rapport n° 8, Truro (N.-É.), 48 p.

CARPENTER, J.M. 1981, Peat Mining, An Initial Assessment of Wetland Impacts and Measures to Mitigate Adverse Effects, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 61 p.

CLAIR, T.A. et B. FREEDMAN. 1985, Patterns and importance of dissolved organic carbon in four acidic brown water streams in Nova Scotia, Canada, Water Air Soil Pollut. (sous presse).

CLAIR, T.A. et B. FREEDMAN. 1985, Patterns and importance of dissolved organic carbon in four acidic brown water streams in Nova Scotia, Canada, Water Air Soil Pollut. (sous presse).

CLYMO, R.S. 1983, Peat, Ecosystems of the World 4A Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor, A.J.P. Gore ed., Elsevier Scientific Publishing Company, New York, p. 159-224.

DELZIEL, J. 1955, Canadian Fisheries Resource Development Branch, Région des Maritimes, rapport manuscrit, n^{os} 1-7, p. 62-69.

DIEBOLD, C.H. 1942, Effect of fire and logging on the depth of forest floor in the Adirondack Region, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21 : 444-447.

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES. 1981, Débits moyens annuels, Division des relevés hydrologiques du Canada, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

DORCEY, A.H., M.W. McPHEE et S. SYDNEYSMITH. 1980, Salmon Protection and the B.C. Coastal Forest Industry: Environmental Regulation as a Bargaining Process, Conseil économique du Canada, Ottawa (Ont.), p. 150-171.

DOUGLAS, B. 1905, Report on the Clyde River, Archives publiques du Canada, Ministère de la marine et des pêcheries, RG23, 235.

DRABLOS, D. et I. SEVALDRUD. 1980, Lake acidification, fish damage and utilization of outfields. A comparative survey of six highland areas, south eastern Norway, Ecological Impact of Acid Precipitation, D. Drablos et A. Tollan ed., SNSF Oslo, Norvège, p. 345-355.

DRISCOLL, C.T. et K.M. NEWTON. 1985, Chemical characteristics of Adirondack lakes, Environ. Sci. Tech. 19(11) : 1018-1024.

ÉTATS-UNIS-CANADA. 1983. Mémorandum déclaratif d'intention concernant la pollution atmosphérique transfrontière. Groupe de travail sur les évaluations des impacts. Rapport final. Burlington, Ontario. p. 3-133 à 3-139.

EVERETT, A.G., W.C. RETSECH, J.R. KRAMER, I.P. MONTANEZ et P.F. DUHAIME. 1983, Hydrogeochemical characteristics of Adirondack waters influenced by terrestrial environments, Proceedings of Second National Symposium on Acid Rain, Greater Pittsburgh Chamber of Commerce, Pittsburgh, Pennsylvanie.

FARMER, G.J., T.R. GOFF, D. ASHFIELD et H.S. SAMANT. 1980, Some effects of the acidification of Atlantic salmon rivers in Nova Scotia, Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. n° 972: 13 p.

FERNOW, B.E. 1912, Forest Conditions of Nova Scotia, Canada Comm. Conserv., Ottawa.

GOODE, D.A., A.A. MARSAN et J.R. MICHAUD. 1977, Water Resources, Muskeg and the Northern Environment in Canada, N.W. Radforth and C.O. Brawner ed., University of Toronto Press, Downsview, Ontario, p. 299-331.

GORHAM, E. 1957, The chemical composition of lake waters in Halifax County, Nova Scotia, Limnol. Ocean., 2 : 12-21.

GORHAM, E., S.E. BAILEY et D.W. SCHINDLER. 1984, Ecological effects of acid deposition upon peatland: A neglected field in acid rain research, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41 : 1256-1268.

GOSSELINK, J.G. et R.E. TURNER. 1978, The role of hydrology in freshwater wetland ecosystems, Freshwater Wetlands, K.E. Good et al. ed., Academic Press, New York, p. 73-78.

HAVAS, M., T.C. HUTCHINSON et G.E. LIKENS. 1984, Red herrings in acid rain research, Environ. Sci. Tech., 18(6) : 176A - 186A.

HIRVONEN, H. 1984, Terrain sensitivity to acid deposition in Nova Scotia, Direction générale des terres, Environnement Canada, Dartmouth (N.-É.), 16 p. avec carte.

JENSEN, K.W. et E. SNEKVIK. 1972, Low pH levels wipe out salmon and trout populations in southern Norway, Ambio, 1 : 233-225.

KEREKES, J. et G. HOWELL. 1983, Ion balances with the methyl thymol blue and ion-chromatograpy sulphate determinations, Proc. Workshop, 26 avril, 1983, Kejimkujik Calibrated Catchment Program, Région de l'Atlantique, Groupe de surveillance et d'étude des répercussions (TADPA), Halifax (N.-É.), p. 41-46.

KEREKES, J., G. HOWELL et T. POLLOCK. 1982, Characterization of three lake basins sensitive to acid precipitation in central Nova Scotia (juin 1979 à mai 1980), Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 67(5) : 679-694.

KEREKES, J., G. HOWELL et T. POLLOCK. 1984, Problems associated with sulphate determination in humic waters in Kejimkujik National Park, Nova Scotia, Canada. Verh. Internat. Verein, Limnol. 22. (sous presse).

KEREKES, J., S. BEAUCHAMP, R. TORDON, C. TREMBLAY et T. POLLOCK. 1985, Organic versus anthropogenic acidity in the tributaries of the Kejimkujik watersheds in western Nova Scotia, Manuscript B-2, p. 48, Présenté au Colloque international sur les précipitations acides, septembre 1985, Muskoka (Ont.).

KESSEL-TAYLOR, I. 1984, An Evaluation of a Methodology (Snell, 1981) for Determining Presettlement and Existing Wetlands in Canada, Rapports divers, Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa (Ont.), 50 p.

KLEIN, D.T. et R.M. KLEIN. 1985, Tree dieback: the growing case against acid rain, Garden 03/04 : 22-27.

KNIGHT, A.P. 1907, Sawdust and fish life, Can. Biol., p. 111-119.

KRUG, E.C. et C.R. FRINK. 1983, Acid rain and acid soil: A new perspective, Sci. 221 : 520-525.

KRUG, E.C., P.J. ISAACSON et C.R. FRINK. 1985, Appraisal of some current hypotheses describing acidification of watersheds, J. Air Pollut. Cont. Assoc., 35(2) : 109-114.

LAZERTE, B.D. et P.J. DILLON. 1984, Relative importance of anthroponegic versus natural sources of acidity in lakes and streams in central Ontario, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41 : 1664-1677.

LEFOHN, A.S. et G.O. KLOCK. 1985, The possible importance of soil processes in defining surface water pH depressions, J. Air Pollut. Cont. Assoc., 35 : 632-637.

MacDOUGALL, J.I. et D.B. CANN. 1961, Soil Survey of Shelburne County, Nova Scotia, rapport n° 10, Nova Scotia Soil Survey, Truro (N.-É.), 38 p.

MacDOUGALL, J.I., D.B. CANN et J.D. HILCHEY. 1963, Soil Survey of Halifax County, Nova Scotia, rapport n° 13, Nova Scotia Soil Survey, Truro (N.-É.), 53 p.

MacEACHERN, N.J.E. et J.R. MacDONALD. 1962, The salmon fishery of Nova Scotia, Can. Fish Cult., 31 : 43-57.

MASON, J. et H.M. SEIP. 1985, A current state of knowledge on acidification of surface waters and guidelines for further research, Ambio 14: 45-51.

MOFFAT, B. Atlantic Salmon Foundation, St. Andrew's (N.-B.), communication personnelle, août 1985.

MONENCO ONTARIO LTD. 1978, Assessment of Canadian Fuel Peat as an Alternative Fuel for Power Generation, Rapport préparé pour Énergie, Mines et Ressources Canada, p. 2-13 à 2-15.

NARVER, D.W. 1971, Effects of logging debris of fish production, Proceedings Symposium on Forest Land uses and Stream Environment, octobre 1970, J.T. Krygier et J.D. Hall (éd.), Oregon State University, Corvallis, Oregon, p. 100-111.

NETBOY, A. 1974, The Salmon: Their Fight for Survival, Houghton Mifflin Company, Boston, p. 190-221.

NICHOLSON, J.P. 1984, Peat Policies and Activities in Canada, vol. 1, Présentation des faits saillants pour le Conseil national de recherche du Canada, Environnement Canada et Énergie, Mines et Ressources Canada, J. Phillip Nicholson Policy Management Consultants Ltd., Ottawa, 78 p.

NILSSON, S.I., H.G. MILLER et J.D. MILLER. 1982, Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: An examination of the concepts, Oikos, 39 : 40-49.

NOVA SCOTIA DEPARTMENT OF LANDS AND FORESTS. 1971, Yarmouth Subdivision, Nova Scotia Forest Inventory, Halifax (N.-É.), 59 p.

OLIVER, B.G., E.M. THURMAN et R.L. MALCOM. 1983, The contribution of humic substances to the acidity of coloured natural waters, Geochim. Cosmochin. Acta, 47 : 2031-2035.

OVERREIN, L.N., H.M. SEIP et A. TOLLAN. 1980, Acid Precipitation - Effects on Forest and Fish, projet SNSF, Norvège, 1972-1980, 175 p.

PALOHEIMO, J.E. et P.F. ELSON. 1974, Reduction of Atlantic salmon (Salmo salar) catches in Canada attributed to the Greenland fishery, J. Fish. Res. B. Can. 31 : 1467-1480.

PATRICK, R., V.P. BINETTI et V.P. HALTERMAN. 1981, Acid lakes from natural and anthropogenic causes, Sci., 211 : 446-448.

PERRY, L.S. 1983, For Old Time's Sake: with Pike and Peavey on the Barrington River, Cape Sable Historical Society, Barrington (N.-É.), 25 p.

RCEP (Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations). 1982, Rapport annuel RCEP 1977-1981, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Downview (Ont.).

RCEP (Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations), 1982, Rapport annuel RCEP 1982, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Downsview, Ontario, 89 p.

REUSS, J.O. 1976, Chemical and biological relationships relevant to the effect of acid rainfall on the soil-plant system, Water Air Soil Pollut., 7 : 461-476.

RICHTER, D.D. 1984, Comments on Henriksen, Environ Sci. Tech., 18 : 632-634.

ROSENQVIST, I. Th. 1978, Alternative sources for acidification of river water in Norway, Sci. Tot. Environ., 10 : 39-49.

SAUNDERS, R.L. 1981, Atlantic salmon (Salmo salar) stocks and management implications in the Canadian Atlantic Provinces and New England, USA., Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38 : 1612-1625.

SCHINDLER, D.W. et T. RUSZEZYNSKI. 1983, A test of limnological data from the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario. Can. Tech. Rept. Fish, Aquat. Sci. n° 1147, Institut des eaux douces, Pêches et Océans Canada, Winnipeg (Man.).

SEIP, H.M. et A. TOLLAN. 1978, Acid precipitation and other possible sources for acidification of rivers and lakes, Sci. Tot. Environ., 10 : 253-270.

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE. 1982. Précipitation, vol. 3. Normales climatiques au Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Downsview (Ont.).

SMITH, A.D., E.J. HUDGINS et M. SPENCE. 1981, Wetlands inventory and evaluation in the Maritimes, Ontario Wetland Conference Proceedings, A. Champagne ed., Federation of Ontario Naturalists, Toronto (Ont.), p. 116-119.

SMITH, J.S. 1981, Atlantic Salmon Sport Catch and Effort Data, Maritimes Region 1951-1979, Can. Data Rept. Fish Aquat. Sci. n° 258, Freshwater and Anadromous Division, Ministère des pêches et océans, Halifax (N.-É.).

STATISTIQUE CANADA. 1978, Agriculture, Nouvelle-Écosse, Statistique Canada, Ottawa (Ont.).

STRANG, R.M. 1972, Ecology and land use of the barrens of western Nova Scotia, Can. J. Forest. Res., 2 : 276-290.

SWETNAM, D.A.B. et S.F. O'NEIL. 1985, Collation of Atlantic Salmon Sport Catch Statistics, Maritime Provinces, 1960-69, Can. Date Rept. Fish. Aquat. Sci. n° 533, Ministère des pêches et océans, Halifax (N.-É.).

TARNOCAI, C. 1979, Canadian wetland registry, Proceedings of a Workshop on Canadian Wetlands. C.D.A Rubec et F.C. Pollet ed., rapport n° 12 de la série sur la classification écologique des terres, Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa (Ont.), p. 9-38.

TIMBERLID, J.A. 1980, Have changes in use of land influenced the regional lake acidification?, Ecological Impact of Acid Precipitation, D. Drablos et A. Tollan ed., projet SNSF, Oslo, Norvège, p. 352-353.

THOMAS, J.F.J. 1960, Industrial Water Resources of Canada, the Atlantic Provinces and the Saint John River Drainage Basins in Canada, 1954-1956, Water Survey Report n° 11, Ministère des mines et des relevés techniques, Ottawa (Ont.), 158 p.

VEITH, F. 1884, Report Upon the Condition of the Rivers in Nova Scotia, Queens Printer, Ottawa (Ont.).

WATT, W.D., D. SCOTT et S. RAY. 1979, Acidification and other chemical changes in Halifax County lakes after 21 years, Limnol. Ocean. 24(6) : 1161-1165.

WATT, W.D., C.D. SCOTT et W.J. WHITE. 1983(a), Evidence of acidification of some Nova Scotian rivers and its impact on Atlantic salmon, Salmo salar. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40 : 462-473.

WATT, W.D., C.D. SCOTT et W.J. WHITE. 1983(b), Reply to Comments, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40 : 2261-2262.

WEIN, R.W. et J.L. MOORE. 1979, Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotian acadian forest., Can. J. Forest. Res., 9(2) : 166-178.

ANNEXE I

Caractéristiques du bassin versant de la rivière Clyde

BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CLYDE

Les rivières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse sont naturellement acides, et leurs eaux sont très colorées. Elles descendent des hautes-terres du sud, où se trouve un grand nombre de lacs, de rivières, de tourbières et de terres dénudées et rocheuses, et se jettent dans l'océan Atlantique. La région est drainée par cinq rivières importantes : la Tusket, la Barrington, la Roseway, la Jordan et la Clyde. Cette dernière, qui a été choisie pour les fins de l'étude, est représentative des rivières de la région, car elle présente toutes les caractéristiques susmentionnées. Son débit n'est pas régularisé, et l'on possède à son sujet de nombreuses données statistiques sur les prises sportives de saumons ainsi que des renseignements sur la qualité de ses eaux.

Caractéristiques physiques

i) Terrain

La rivière Clyde coule vers le sud, à 65 km des hautes-terres centrales des comtés de Shelburne et de Yarmouth. Elle se jette dans l'océan Atlantique et draine un bassin de 361 km^2 (figure 3). Ce bassin est caractérisé par de nombreuses crêtes irrégulières et peu élevées, des poches d'apports fluvio-glaciaires et des terres humides dispersées dans des dépressions (MacDougall et Cann, 1961; Strang, 1972). En général, le sol est un podzol mêlé de sable grossier, en couche plutôt mince sur les assises rocheuses. L'intervalle de variation du pH est d'environ 3,6 (couche organique) à 5,0 (horizons non météorisés). La roche en place est formée de granite dévonien, de quartzite et de schiste précambriens ou de roches métamorphiques de même nature que ces dernières. Les terres humides comprennent surtout des marais arborés et des tourbières oligotrophes (MacDougall et Cann, 1961).

ii) Végétation

Dans tout le bassin, la couverture végétale se compose de forêts et de scrubs, dont la présence est due à la mince couche de sol sec, à l'exploitation forestière et aux incendies. Les espèces dominantes sont l'épinette rouge, l'épinette noire et le sapin baumier, dans les basses-terres, et le pin blanc, l'épinette blanche et l'érable rouge, sur les crêtes (ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse, 1971). Dans le sous-étage et les terres dénudées, on trouve des arbres et des arbrisseaux ainsi que de la végétation particulière aux landes.

iii) Climat

Le bassin versant jouit en général d'un climat maritime doux. Les températures quotidiennes moyennes varient entre 18° C, en juillet et en août, et -3° C, en février. Les précipitations annuelles moyennes, mesurées à Shelburne, près de l'embouchure de la Clyde, sont de 1 337 mm (Service de l'environnement atmosphérique, 1982). Pendant l'hiver, les vents sont généralement du nord-ouest et apportent des précipitations dont le pH moyen est de 4,6. En été, les vents sont du sud-ouest, en provenance des États-Unis, et le pH moyen des précipitations, mesuré à Shelburne de 1977 à 1982, est de 4,4 (RCEP, 1982 et 1983).

Qualité de l'eau

La rivière Clyde a été échantillonnée pour la première fois en août 1954, et le pH du seul échantillon prélevé était de 5,0 (Thomas, 1960). Par la suite, la Direction de la qualité des eaux (DQE), de la Direction générale des eaux intérieures, a effectué un échantillonnage mensuel de novembre 1979 à mai 1981.

Les eaux de la Clyde sont très colorées, et les résultats de l'analyse, exprimés en unités Hazen, sont souvent supérieurs à 100 (annexe II, tableau 2). À cause des embruns marins, les concentrations de sodium (3,84 mg/L) et de chlorures (5,99 mg/L) sont élevées comparativement aux autres ions. Pour la période de 1979 à 1981, le pH moyen de l'eau de la rivière (4,7) était légèrement supérieur à celui des précipitations, qui était de 4,6 (RCEP, 1983). De tous les anions, à l'exception des chlorures, ce sont les anions organiques, dont la teneur a été calculée selon la méthode d'Oliver et al. (1983), qui sont les plus abondants (section 4.2).

ANNEXE II

Résumé statistique de l'analyse de régression simple

Résumé statistique de la 1re analyse de régression simple

Variable indépendante: pourcentage des terres humides	Variable dépendante	Coefficient de corrélation r	r^2	Signification
N = 10 d.l. = 8	Ca	-0,3797	0,1442	faible tendance
	Mg	-0,5572	0,3105	90 %
	Na	-0,1395	0,0194	aucune
	K	-0,5679	0,3226	90 %
	Fe	-	-	-
	H	0,3288	0,1081	aucune
	NH_4	-	-	-
	Al	0,4124	0,1701	faible tendance
	SO_4	-	-	-
	Cl	-0,2745	0,0754	aucune
	NO_3	-	-	-
	Cations totaux	-0,4481	0,2008	faible tendance
	Anions totaux	-0,2247	0,0505	aucune
	Alcalinité	-0,2888	0,0834	aucune
	Couleur	0,3783	0,1431	faible tendance
	Acides organiques	-0,2668	0,0712	aucune
	COD	0,5994	0,3592	90 %
	pH	-0,4039	0,1631	faible tendance

- Échantillonnage insuffisant

Résumé statistique de la 2e analyse de régression simple

Variable indépendante: pourcentage de tourbières oligotrophes	Variable dépendante	Coefficient de corrélation r	r^2	Signification
N = 10 d.l. = 8	Ca	-0,4977	0,2477	forte tendance
	Mg	-0,6600	0,4356	95 %
	Na	-0,0900	0,0081	aucune
	K	-0,5908	0,3490	90 %
	Fe	-	-	-
	H	0,3691	0,1362	faible tendance
	NH_4	-	-	-
	Al	0,4016	0,1613	faible tendance
	SO_4	-	-	-
	Cl	-0,2422	0,0587	aucune
	NO_3	-	-	-
	Cations totaux	-0,5488	0,3012	90 %
	Anions totaux	-0,2608	0,0680	aucune
	Alcalinité	-0,3696	0,1366	faible tendance
	Couleur	0,4457	0,1987	forte tendance
	Acides organiques	-0,2324	0,0540	aucune
	COD	0,6350	0,4032	95 %
	pH	-0,4886	0,2387	faible tendance

ANNEXE III

Principales classes de terres humides
au Canada

Principales classes de terres humides au Canada

Le Groupe de travail sur les terres humides du Comité canadien de la classification écologique du territoire a relevé au Canada cinq principales classes de terres humides (Tarnocai, 1979).

Tourbières oligotrophes

La tourbière oligotrophe est couverte de tourbe ou forme une terre humide qui en est remplie; la nappe phréatique, généralement élevée, se trouve en surface, ou presque. Étant donné que la tourbière est fréquemment surélevée par rapport aux terres humides environnantes ou au même niveau que celles-ci, elle est presque imperméable aux eaux souterraines riches en éléments nutritifs provenant des sols minéraux voisins, et l'eau qu'elle contient est généralement acide et pauvre en ces éléments. La tourbe se compose surtout de sphaignes et de tourbe de forêt reposant parfois sur de la tourbe minérotrophe. Les sols se classent parmi les fibrisols, les mésisols et les cryosols organiques. Ces tourbières, boisées ou non, sont habituellement couvertes de mousse de sphaigne, d'hypnées et d'éricacées.

Tourbières minérotrophes

La tourbière minérotrophe, où la nappe phréatique se situe habituellement en surface ou plus haut, est couverte de tourbe ou forme une terre humide qui en est remplie. Les eaux sont en grande partie minérotrophes en raison de l'apport des sols minéraux. Sa tourbe se compose principalement de matières minérotrophes d'épaisseur variable dont la décomposition est de modérément à très avancée. Les sols sont surtout des mésisols, des humisols et des cryosols organiques. La végétation dominante comprend des cypéracées, des graminées, des roseaux, des mousses brunes ainsi que de quelques arbustes et arbrisseaux et, parfois, des arbres clairsemés.

Marais

Le marais est une terre minérale ou à tourbe périodiquement inondée d'eau stagnante ou à très faible débit. Le niveau des eaux de surface peut varier selon les saisons et diminuer au point de laisser à découvert des bancs de vase ou un tapis végétal. Les eaux sont riches en éléments nutritifs. Le substrat se compose habituellement de matières minérales, mais aussi, de temps à autre, de dépôts tourbeux. Les gleysols prédominent, bien que l'on trouve aussi des humisols et des mésisols. Les marais sont caractérisés par des zones ou une mosaïque de végétation comprenant des peuplements mal établis de graminées et de cypéracées, fréquemment entrecoupés de chenaux ou de mares d'eau libre. On peut trouver en périphérie des bandes d'arbres, d'arbustes et d'arbrisseaux, mais la végétation dominante consiste en une variété de plantes non ligneuses émergées comme les joncs, les roseaux et les cypéracées. Différentes plantes aquatiques, immergées et flottantes, croissent dans les zones d'eau libre.

Marécages

Le marécage est une terre humide minérale ou un terrain tourbeux comprenant des mares et des chenaux d'eau stagnante ou légèrement courante. La nappe phréatique se trouve habituellement en surface, ou presque. Comme il existe une forte circulation d'eau en bordure du marécage ou provenant d'autres

sources minérales, les eaux sont riches en éléments nutritifs. La tourbe qui peut s'y trouver est en grande partie de la tourbe de forêt bien décomposée reposant parfois sur de la tourbe minérotrophe. Les sols sont des mésisols, des humisols et des gleysols. La végétation est caractérisée par une dense couverture de conifères ou de feuillus, de grands arbustes et arbrisseaux, des plantes herbeuses et quelques mousses.

Terres légèrement submergées

Ces terres sont légèrement submergées, de façon semi-permanente à permanente, par des eaux stagnantes ou courantes et comprennent des étendues d'eau libre relativement considérables et stables appelées localement étangs, mares, fondrières, lacs peu profonds, baies, lagunes, lacs en croissant, bras morts ou chenaux. À l'encontre des eaux profondes, l'eau des terres submergées ne dépasse pas 2 m de profondeur, sauf parfois à l'occasion de crues exceptionnelles. En période de sécheresse, lorsque l'eau est basse ou que la marée est à son plus faible, des étendues de terrain plat peuvent être mises à découvert. Cette classe de terres humides comprend tous les bassins où, pendant l'été, la surface des zones d'eau libre dépasse 8 ha, indépendamment de la superficie des terres humides en bordure. Ces terres submergées se différencient des autres terres humides par des tapis de végétation flottante, en bordure extérieure, ou par le niveau des eaux de surface au milieu de l'été; d'ordinaire, on y trouve des plantes émergées ou des arbustes et arbrisseaux ainsi que de profonds marais à la périphérie.

Tous les autres bassins de superficie inférieure à 8 ha et où, pendant l'été, les zones d'eau libre s'étendent sur 75 % ou plus du diamètre sont aussi considérés comme des terres légèrement submergées. À la périphérie, la végétation peut être inexistante ou confinée à une étroite bande de végétation enracinée et émergée, comprenant des arbres, s'étendant sur au plus 25 % du diamètre du bassin. La végétation qui peut se trouver dans la zone d'eau libre ne comprend que des plantes aquatiques submergées et flottantes.